

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника  
 Отделение школы (НОЦ) информационных технологий

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ.</b>

УДК 004.415.2:532.517.4:551.55

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM82	Иванов Егор Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Стоянов А.К.	к. т. н		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В. Ю.	к. т. н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горбенко М. В.	к. э. н		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ботыгин И. А.	к.т.н., доцент		

**Планируемые результаты обучения по ООП 09.04.01 Информатика и  
вычислительная техника**

<b>Код</b>	<b>Результаты обучения</b>	<b>Требования ФГОС 3++ ВО, СУОС ТПУ, критерии ассоциации инженерного образования России и международных стандартов, требования профессиональных стандартов России</b>
<b>P1</b>	Самостоятельно приобретать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в области современных информационно-коммуникационных технологий для решения междисциплинарных инженерных задач.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-1, ОПК-4), СУОС ТПУ (УК-1, УК-4, УК-5), критерий 5 АИОР (п. 1.1), требования профессионального стандарта 06.014 (ПК-1).
<b>P2</b>	Разрабатывать оригинальные алгоритмы и программные средства, в том числе с использованием современных интеллектуальных технологий, для решения профессиональных задач.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-2), СУОС ТПУ (УК-1), критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 06.015 (ПК-2), 06.016 (ПК-3), 06.041 (ПК-11).
<b>P3</b>	Демонстрировать культуру мышления, способность выстраивать логику рассуждений и высказываний, основанных на интерпретации данных, интегрированных из разных областей науки и техники, выносить суждения на основании неполных данных, анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-3), СУОС ТПУ (УК-1, УК-6), критерий 5 АИОР (п. 1.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 01.004 (ПК-12, ПК-13, ПК-14).
<b>P4</b>	Демонстрировать способность к практическому использованию полученных новых знаний, новых научных принципов и новых методов исследований.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-3, ОПК-4), СУОС ТПУ (УК-4, УК-6), критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.2, 2.6.), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 06.027 (ПК-7), 06.036 (ПК-8), 06.037 (ПК-9), 06.040 (ПК-10).

<b>P5</b>	Разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем, адаптировать зарубежные комплексы обработки информации и информационно-коммуникационные системы к нуждам отечественных предприятий.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-5, ОПК-6, ОПК-7), СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-6), критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 1.5), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 06.015 (ПК-2), 06.026 (ПК-6).
<b>P6</b>	Осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-8), СУОС ТПУ (УК-2), требования профессиональных стандартов 06.017 (ПК-4), 06.022 (ПК-5).
<b>P7</b>	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения, эксплуатации и модернизации программно-аппаратного обеспечения информационно-телекоммуникационных систем на всех этапах жизненного цикла.	Требования СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-4), критерий 5 АИОР (п. 1.5), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования профессиональных стандартов 06.026 (ПК-6), 06.036 (ПК-8), 06.037 (ПК-9).
<b>P8</b>	Критически анализировать современные проблемы информатики и вычислительной техники, ставить задачи и разрабатывать программу исследования в индустрии новых информационных технологий, выбирать соответствующие методы решения экспериментальных и теоретических задач, критерии эффективности и ограничения их применимости, прогнозировать тенденции научно-технического развития.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-3), СУОС ТПУ (УК-1), требования профессионального стандарта 01.036 (ПК-8).
<b>P9</b>	Способность к профессиональной коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности на основе истории и философии нововведений, математических методов и моделей для управления разработкой программных средств и проектов; способность руководить коллективом в сфере профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия; способность публично выступать и отстаивать свою точку зрения.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-1), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), требования профессионального стандарта 01.004 (ПК-12, ПК-14).

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Сервер с измерениями с ультразвуковых термоанемометров</p>
---	---

**Перечень подлежащих  
исследованию, проектированию и  
разработке вопросов**

*(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).*

- Обзор литературных источников.
- Разработка программного обеспечения для вычисления характеристик турбулентности в приземном слое атмосферы с метеостанции АМК-03.
- Анализ полученных результатов.
- Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.
- Социальная ответственность.
- Заключение.

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Социальная ответственность	Горбенко М. В.	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.	
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>		
Введение, Определение в метеорологии, Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс АМК-03, Терминология метеорологических наблюдений		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	27.01.2020
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Стоянов А.К.	К. Т. Н		27.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM82	Иванов Егор Андреевич		27.01.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8BM82	Иванов Егор Андреевич

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Тема ВКР:

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является программа для вычисления характеристик турбулентности в приземном слое атмосферы. Оборудование на котором осуществляется работа является персональный компьютер. Разработанная программа может применяться в таких областях как метеорология для наблюдения и анализа а также исследований в этой области.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и санитарным нормам. (Трудовой кодекс РФ) Использование оборудования и мебели в соответствии с антропометрическими факторами. (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03)
2. Производственная безопасность:	Вредные факторы: - Физические (микроклимат; повышенный уровень шума; недостаточная освещённость; воздействие ЭМП). - Расчет освещенности рабочего места - Психофизиологические (монотонность труда). Опасные факторы: - Поражение электрическим током; статическое электричество
3. Экологическая безопасность:	Бытовые отходы. Отходы в случае поломки ПЭВМ.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможной чрезвычайной ситуацией при разработке программы является возникновение пожара на рабочем месте

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

доцент	Горбенко М.В.	к.т.н		25.02.2020
--------	---------------	-------	--	------------

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM82	Иванов Егор Андреевич		25.02.2020



# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8BM82	Иванов Егор Андреевич

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	09.04.01 Информатика и вычислительная техника

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	—
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Действующие ставки единого социального налога и НДС, ставка дисконтирования = 0,1 (см. МУ)

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабов их использования
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения внутри существующей организации
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ - выполнить
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ - выполнить
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		25.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM82	Иванов Егор Андреевич		

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки – 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

Уровень образования – Магистратура

Отделение школы (НОЦ) – Отделение информационных технологий

Период выполнения – осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.2020	Анализ литературы	15
01.03.2020	Глава 1. Метеорология и описание типа средств измерений, терминология метеорологических наблюдений.	15
15.03.2020	Глава 2. Основные понятия турбулентности в атмосфере и их характеристик в приземном слое атмосферы, статистические методы исследования данных.	15
30.03.2020	Глава 3. Проектирование приложения, структура, метеорологических параметров.	20
15.04.2020	Глава 4. Результаты работы, оценка и визуализация для значений параметров турбулентности в приземном слое атмосферы.	15
20.04.2020	Глава 5. Социальная ответственность	15
01.05.2020	Глава 6. Финансовый менеджмент	5

**СОСТАВИЛ:****Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Стойанов А.К.	К. Т. Н		

**СОГЛАСОВАНО:****Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ботыгин И. А.	К. Т. Н		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 104 страниц, 18 рисунков, 17 таблиц, 2 приложения.

Ключевые слова: турбулентность, ультразвуковой термоанемометр, приземный слой атмосферы.

Объектом исследования являются: Параметры турбулентности приземного слоя атмосферы.

Целью данной работы: является разработка удобного, точного и недорого приложения для вычисления характеристик атмосферной турбулентности по данным, полученным с метеостанции АМК-03. Эти данные представляют интерес, поскольку они получены в черте города над неоднородной подстилающей поверхностью. Кроме того, оценка количественных характеристик турбулентности в приземном слое имеет большое значение при исследовании атмосферного пограничного слоя, так как все теории подобия используют в качестве одного из входных параметров полученные характеристики. Поэтому ошибки в определении характеристик турбулентности в приземном слое отразятся и на характеристиках атмосферного пограничного слоя.

Для достижения поставленной цели выделены следующие задачи:

1. Разработать инструментарий для взаимодействия с серверами АМК-03. Инструментарий должен использоваться и автономно, обеспечивая динамическую выдачу запрошенных метеорологических данных и их экспорт в стандартных форматах распространения.
2. Разработать инструментарий для вычисления параметров описательной статистики, первичного корреляционно-регрессионного анализа и характеристик турбулентности приземного слоя атмосферы по выбранной совокупности данных.
3. Провести исследования изменения характеристик турбулентности приземного слоя атмосферы в различных временных масштабах.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ**

ЗП – заработная плата.

ПР – прибыль.

ПО — Программное обеспечение.

РФ — Российская Федерация.

ГОСТ — Государственный стандарт.

СНиП – Строительные нормы и правила.

СН – строительные нормы.

СП – строительные правила.

КЗ – коэффициент запаса.

СанПиН – Санитарные правила, нормы, правила и нормы, гигиенические норматив

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	13
ГЛАВА 1 МЕТЕОРОЛОГИЯ И ОПИСАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ТЕРМИНОЛОГИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	14
1.1 Определения в метеорологии.....	14
1.2 Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс АМК-03 .....	15
1.3 Терминология метеорологических наблюдений .....	17
ГЛАВА 2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В АТМОСФЕРЕ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАННЫХ. ....	25
2.1 Турбулентность .....	25
2.2 Статистические методы исследования данных. ....	27
ГЛАВА 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ, СТРУКТУРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	30
3.1 Обобщенный алгоритм работы программы .....	30
3.2 Структура метеорологических параметров. ....	31
3.3 Блок схема разработанного приложения .....	34
ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОЦЕНКЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ.....	35
4.1 Формирование метеорологических параметров, усреднение и визуализация мгновенных значений.....	35
4.2 Вычисление параметров описательной статистики, первичного корреляционно- регрессионного анализа и характеристик турбулентности приземного слоя атмосферы по выбранной совокупности данных.....	37
4.3 Обзор проведения исследования изменения характеристик турбулентности приземного слоя атмосферы в различных временных масштабах. ....	46
ГЛАВА 5 Социальная ответственность .....	51
5.1 Аннотация .....	51
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	51
5.1.1 Описание правовых норм для работ, связанные с работой на ПЭВМ.....	51
5.2 Производственная безопасность на стадии разработки программного обеспечения.....	55
5.2.1 Вредные производственные факторы.....	56
5.3.1 Опасные производственные факторы .....	61
5.4 Экологическая безопасность .....	63
5.4.1 Влияние объекта исследования на окружающую среду .....	63
5.4.2 Мероприятия по защите окружающей среды .....	64
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	65
5.6 Заключение по разделу .....	66
ГЛАВА 6. Финансовый менеджмент .....	67
6.1 Организация и планирование работ .....	67

6.2 Определение трудоемкости работ .....	68
6.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....	72
6.3.1 Расчет затрат на материалы .....	72
6.3.2 Расчет заработной платы .....	72
6.3.3 Расчет затрат на социальный налог .....	73
6.3.4 Расчет затрат на электроэнергию.....	73
6.3.5 Расчет амортизационных расходов .....	73
6.3.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных). .....	74
6.3.7 Расчет прочих расходов .....	74
6.3.8 Расчет общей себестоимости разработки.....	74
6.3.9 Расчет прибыли.....	75
6.3.10 Расчет НДС.....	75
6.3.11 Цена разработки НИР .....	75
6.4 Оценка экономической эффективности проекта.....	76
6.5 Заключение по разделу. ....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	79
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	91

## ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие цифровых технологий оказало большую роль в разработке качественно новых ультразвуковых метеостанций, обладающих существенно лучшими техническими возможностями для оценивания параметров атмосферной турбулентности. Современные устройства этого типа могут измерять мгновенные значения температуры воздуха и трех ортогональных компонентов скорости ветра с наилучшими показателями, что очень важно при оценивании параметров турбулентности. К этим показателям относятся: инерционность измерений ( $\sim 10^{-3}$  с), пороговая чувствительность к пульсациям метеорологических параметров ( $\sim 10^{-2}$  °С или м/с) и частота повторения измерений (от 10 до 160 Гц). Первые два показателя определяют разрешающую способность прибора к турбулентным флуктуациям метеорологических параметров по амплитуде, а третий – значение верхней границы их разрешения в частотных спектрах. Необходимо отметить, что в современные ультразвуковые метеостанции встраиваются дополнительные датчики для измерения относительной влажности воздуха, атмосферного давления, контроля угловых отклонений вертикальной оси термоанемометра и др., позволяющие осуществлять различный мелкомасштабный вероятностно-статистический подход для анализа и установления взаимосвязи метеорологических параметров.

Исследование характеристик турбулентности в приземном слое представляет собой важную часть исследования всего пограничного слоя атмосферы. В приземном слое атмосферная турбулентность удовлетворительно описывается теорией Монина-Обухова. Однако, даже в идеальных условиях ровной и однородной подстилающей поверхности наблюдается значительный разброс данных о характеристиках атмосферной турбулентности. Одной из причин этих расхождений является географическое положение, рельеф местности, шероховатость подстилающей поверхности.



# **ГЛАВА 1 МЕТЕОРОЛОГИЯ И ОПИСАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ТЕРМИНОЛОГИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.**

## **1.1 Определения в метеорологии**

Метеорология является наукой в изучении атмосферы, раскрывающие такие параметры как состав, строение, свойство и происходящие в ней физических и химических процессах. Теоретической основой метеорологии служат общие законы физики и химии, применительно к атмосфере. Основными целями метеорологии являются представление о состоянии атмосферы в текущий момент времени и последующий прогноз состояния атмосферы. В отдельных случаях появляется необходимость восстановить состояние атмосферы в прошедший период времени.

В метеорологии также присутствует такой раздел как климатология, где рассматривается как формируется климат, а также его распределение по земному шару, и изменение в будущем и прошлом.

Под климатом подразумевают комплекс погодных обстоятельств за многолетний период, характерный к различным местам в связи с его географическим местоположением. В этом представлении климат считается одной из физико-географических характеристик местности

Метеорология делится на разделы, которые решают разные задачи:

Физическая метеорология – разработка радиолокационных и космических методов исследования явлений;

Динамическая метеорология – изучает механизмы атмосферных процессов;

Синоптическая метеорология – раскрывает особенности развития атмосферных процессов и разрабатывает практические навыки прогноза;

Климатология – изучает глобальную климатическую систему, дает прогноз относительно большой заблаговременности.

Использование в метеорологии точных физических законов и сложного математического аппарата роднит эту науку с физико-математическими науками.

## **1.2 Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс АМК-03**

Метеорологическая станция АМК-03 специализирована с целью замера метеорологических параметров воздушной среды таких как: температура, атмосферное давление, относительная влажность воздуха, скорости ветра и параметров турбулентности. Станция применяется для автоматизированного мониторинга параметров воздушной среды, ультразвуковой анемометр входящий в АМК-03 отображен на рисунке 1.



Рис.1 – Ультразвуковой анемометр

Принцип действия изделия при измерении параметров воздушных потоков температуры воздуха основан на измерении временных интервалов прохождения ультразвуковых сигналов между четырьмя парами пьезоэлектрических преобразователей ультразвуковых сигналов вычислении по полученным значениям модуля направления вектора групповой скорости воздушного потока, протекающего между преобразователями ультразвуковых сигналов, также температуры воздуха.

Сбор данных для вычисления параметров воздушных потоков изделия, зависимости от исполнения, осуществляется датчиком метеопараметров ДСВ-

15 или термоанемометром ДСВ-16. Первичные преобразователи относительной влажности атмосферного давления размещены, в зависимости от исполнения, внутри корпуса датчика метеопараметров ДСВ-15 или внутри корпуса датчика давления влажности ДДВ-12. Кроме того, внутри корпуса ДДВ-12 размещен дополнительный первичный преобразователь температуры.

В таблице 1 отображены основные характеристики метеостанции.

Таблица 1 – Основные характеристики.

Измеряемая величина	Диапазон измерений, в пределах	Допускаемая основная погрешность измерений, в пределах
1. Температура воздуха (Т)	от минус 50 до плюс 55 °С	$\pm 0,3$ °С, при $T \leq +30$ °С; $\pm 0,5$ °С, при $T > +30$ °С
2. Скорость горизонтального ветра (V)	от 0,1 до 40 м/с	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
3. Направление горизонтального ветра (D)	от 0 до 360°	$\pm 2^\circ$
4. Скорость вертикального ветра (w)	от минус 15 до плюс 15 м/с	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
5. Относительная влажность воздуха (r)	от 15 до 100%	$\pm 2,5\%$ при $T > 0$ °С; $\pm 5\%$ при $T \leq 0$ °С
6. Атмосферное давление (P)	от 693 до 1067 гПа (от 520 до 800 мм.рт.ст.)	$\pm 1$ гПа ( $\pm 0,8$ мм.рт.ст.)

Основные эксплуатационные характеристики:

- Отображение измеряемой информации и управление режимами работы метеокомплекса осуществляются с помощью пульта управления и индикации и/или персонального компьютера;

- Электропитание модификаций изделия осуществляется: а): от сети переменного тока с напряжением 220 В  $\pm 10\%$  и частотой 50 Гц  $\pm 1$  Гц, потребляемая мощность не превышает 10 ВА, б): от сети постоянного тока с напряжением 27 В (аккумуляторной батареи), потребляемый ток не

превышает 0,20 А, в): от сети постоянного тока с напряжением 27 В, потребляемый ток не превышает 0,20 А;

- Габариты и вес основных функциональных блоков метеоконкомплекса: датчик метеорологических параметров  $380 \times \varnothing 230$  мм и 1,4 кг соответственно.

Для измерения ветра используется прибор, который относится к наземным метеорологическим станциям, устанавливается на высоте от 10м до 12м над земной поверхностью. А ветер полученный с прибора называется ветром у земной поверхности.

### **1.3 Терминология метеорологических наблюдений**

Измерения метеорологических величин и оценок атмосферных явлений называют метеорологическими наблюдениями. В метеорологических наблюдениях акцентируют внимание на следующих величинах:

Температура воздуха – важнейшая из характеристик теплового состояния воздуха. В метеорологии температуру принято выражать по шкале Цельсия –  $t^{\circ}\text{C}$ .

В теоретических расчетах применяется также термодинамическая шкала, в которой температура выражается в градусах Кельвина –  $T^{\circ}\text{K}=273,15 + t^{\circ}\text{C}$ .

Влажность воздуха – это количество водяного пара в воздухе, описывается несколькими величинами. Процесс происходит следующим образом поверхность земли с нагреванием испаряет воду и выделяет в атмосферу где, она уже и стягивается в нижних слоях тропосферы. Температура, при которой воздух достигает насыщения влагой при данном содержании водяного пара и неизменном давлении, называется точкой росы. Влажность характеризуется следующими показателями:

1. Абсолютная влажность – это масса водяного пара в  $1 \text{ м}^3$  воздуха. Абсолютная влажность увеличивается, если температура воздуха повышается, потому что испаряется больше воды, которая переходит в пар. Соответственно, абсолютная влажность больше днём, чем ночью. Также абсолютная влажность привязана по географическому местоположению,

исходя из этого можно установить, что от абсолютной влажности воздуха обуславливается и покров растительности.

2. Относительная влажность – это отношение абсолютной влажности воздуха  $p$  к плотности  $p_0$  насыщенного водяного пара при той же температуре, выражается в процентах. В природе воздух редко бывает насыщенным водяными парами, но всё равно содержит небольшое количество. Прибор для измерения влажности воздуха называется гигрометр, а также его автоматизированный вариант гигрограф.

3. Насыщенный и ненасыщенный воздух, определяются и взаимосвязаны напрямую с температурой воздуха, так как имеется предел, который зависит от температуры. Насыщенным воздухом называют тот который уже не может вобрать в себя водяного пара. При охлаждении температуры из насыщенного воздуха выделяются капли жидкости в виде туманов, росы. Вследствие чего происходит такое преобразование, когда снижается температура воздуха, жидкость накопленная начинает преобразовываться из газа в жидкое состояние. Ненасыщенным воздухом называют тот который находится над теплой и сухой поверхностью и не вобравший в себя водяного пара до предела, чем мог бы содержать в себе при данной температуре. Если охладится температура, то не всегда выделяется вода из ненасыщенного воздуха. Отсюда следует, что чем выше температура воздуха, тем больше воздух может вобрать в себя влаги.

Вычисление влажности воздуха используется не только для метеорологических наблюдений. Применяются вычисления и для расчёта промышленных событий таких как сохранение книг и музейных полотен, в области медицины при излечение легочных болезней и в сельскохозяйственных во время орошения полей.

Атмосферное давление, действующее на все находящиеся в ней предметы и на земную поверхность, равно модулю силы, действующей в атмосфере на единицу площади поверхности по нормали к ней. Числовое

значение этой силы  $F$ , отнесенной к площади  $S$ , и называют давлением, вычисляется по формуле:

$$P = F / S \quad (1)$$

Атмосферное давление измеряется барометром, единицей измерения в мире является паскаль, но в Российской Федерации допускаются к использованию бар, миллиметр ртутного столба. Стандартным давлением принято считать 760 мм ртутного столба.

Скорость и направление ветра. В результате неравномерного нагревания земной поверхности и различного (меняющегося по разным причинам) давления воздуха возникает его движение, т.е. ветер. Ветер определяют по скорости и направлению. Скорость измеряется расстоянием в метрах (километрах), на которое перемещается масса воздуха в 1 секунду (час), а также в баллах по 12-балльной системе Бофорта. Поскольку скорость ветра непрерывно меняется, то в метеорологии чаще принимают во внимание его среднее значение за 10 минут. Понятие «направление ветра» определяется в метеорологии названием той страны света, откуда он дует [4]. Различают 16 направлений (румбов), обозначаемых по странам света. На рисунке 2 отображена, так называемая, «роза ветров».

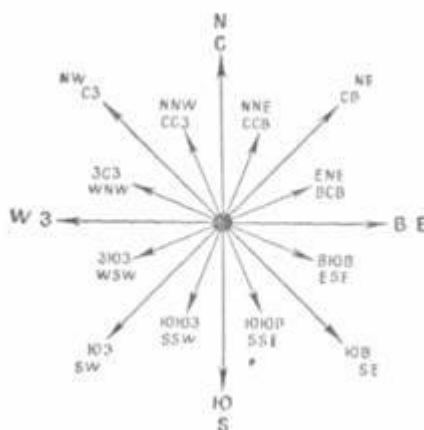


Рис. 2 – Роза ветров

Изменение скорости и направления ветра может вызываться общим перемещением больших масс воздуха на расстояние от 200 до 1000 км и более, а также местными условиями.

На таблице 2 отображена оценка скорости ветра.

Таблица 2 – Оценка скорости ветра

Скорость ветра в км/ч	Словесная характеристика	Признаки скорости ветра
0 – 1,8	Штиль	Дым поднимается - отвесно или почти отвесно, листья неподвижны
1,9 – 5,1	Тихий ветер	Направление ветра определяется по дыму
5,2 – 11,7	Легкий ветер	Движение ветра чувствуется лицом, шелестят листья
11,8 – 18,7	Слабый ветер	Листья и тонкие ветви деревьев постоянно колеблются, ветер развеивает легкие флаги, море покрыто сплошной легкой волной
18,8 – 26,6	Умеренный ветер	Ветер поднимает пыль, приводит в движение тонкие ветви деревьев, на отдельных волнах изредка появляются белые быстро исчезающие «барашки»
26,7 – 35,3	Свежий ветер	Качаются толстые сучья деревьев; «барашки» видны на каждой волне
35,4—44	Сильный ветер	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода, «барашки» на волнах более продолжительны.

Продолжение таблицы 2.

44,1—54,7	Крепкий ветер	Качаются верхушки деревьев, гнутся большие ветви, неудобно идти против ветра. Пенящиеся волны на море
54,8—66	Очень крепкий ветер	Ветер ломает тонкие ветви и сухие сучья деревьев, затрудняет движение
66,1—77,5	Шторм	Ветер сбрасывает дымовые трубы, черепицу. Идти против ветра очень трудно
77,6—90,2	Сильный шторм	Значительные разрушения, деревья вырываются с корнем
90,3—104,4	Жестокий шторм	Большие разрушения: валит телеграфные столбы, вагоны

Свыше 104,4	Ураган	Разрушает дома, производит большие разрушения
-------------	--------	---

Ветер подразделяется на типы:

Фен. Ветер, наблюдаемый только в горах и предгорьях. Образуется следующим образом. Массы воздуха, имеющие большую влажность, при подъеме по наветренному склону охлаждаются. При этом влажность их увеличивается, и на некоторой высоте образуется облачность, из которой при дальнейшем ее подъеме выпадает дождь, а на еще больших высотах – снег.

Перевалив через горы, массы воздуха, в которых количество влаги уменьшилось, при опускании нагреваются (вследствие сжатия) и приобретают более высокую температуру, чем они имели на тех же высотах при подъеме. Такой ветер в горах на подветренных склонах вызывает бурное таяние снега и ледников, способствуя образованию лавин и паводков. Эти сопутствующие фену явления туристы должны учитывать.

Фен в отличие от горно-долинных ветров, направление которых меняется в течение суток, дует всегда только с вершин вниз и может продолжаться несколько дней.

Горно-долинные ветры. Неравномерное нагревание гор и долин днем и охлаждение их ночью создают периодическую смену ветров противоположных направлений. Ночью из-за охлаждения вершин и склонов охлаждаются соприкасающиеся с ними приземные слои воздуха. Более плотный холодный воздух стекает вниз, образуя горный ветер, дующий в долину. Днем, наоборот, дуют теплые ветры, поднимающиеся из долин вверх по склонам гор. Горно-долинные ветры аналогичны ветрам ложин.

Горно-долинные ветры и фены определенным образом связаны с облачностью. Обычно при горно-долинных ветрах вечером облачность на вершинах пропадает. Ночью и до восхода солнца вершины открыты, но к полудню вновь начинают затягиваться облаками. При фене, когда теплый



ветер дует с гор и днем, облачность около вершин не исчезает ни вечером, ни ночью.

Бризы. Ветры, дующие в прибрежных районах днем с моря на берег, ночью – с берега на море. Морские бризы проникают в глубь суши на расстояние до 40 км.

Береговой ветер аналогичен бризу и наблюдается у берегов рек, озер и водохранилищ.

Лесной ветер. Площадь земли под лесом, будучи защищена листвой, слабо нагревается днем и незначительно охлаждается ночью. Поэтому днем возникает ветер от леса к открытым местам, а вечером и ночью – наоборот. Необходимо заметить, что ярко выраженная периодичность всех местных ветров (кроме фена) отчетливо наблюдается только при установившейся хорошей погоде,

В путешествии направление ветра определяют по вымпелу, дыму и компасу, а скорость – глазомерно или ручным анемометром, правила пользования которым указаны в его паспорте.

Количество и высота облаков. Количество, наблюдаемое в одной географической точке принято называть облачностью. Когда, формируется водяной пар в одном месте то это атмосферное явление называют облаком. Облака подразделяются на множество разных видов, подразделяют их по таким критериям как форма, размер, расположения по высоте и природе их образования.

В метеорологии для измерения облачности обычно применяют «десятибалльную шкалу облачности» в которой выражается в процентах покрытия. Помимо этого, облака делятся на верхний и нижний ярус, что описывает их высоту образования. В авиационной отрасли, высота облаков определяется более подробно в системе из восьми октант, где указываются их высоты. Чтобы определить нижнюю кромку облаков применяют специальное устройство. В большинстве случаев высота облаков определяется визуально,

но это не относится к авиационным станциям в них только специальным прибором для более точного определения.

Облака классифицируются в различные виды и у каждого вида есть своё название на латинском, в котором содержатся различные факторы(высота образования, форма, происхождение и другие). Основа классификации содержит такие виды как:

- Перистые облака располагающиеся на высоте от трех до восемнадцати километров, их высота зависит от широты, где они образуются. Имеют вид тонких нитей белого цвета, содержащие в себе падающие кристаллы льда.

- Кучевые облака располагаются на высоте обычно в нижнем ярусе, но также могут достигать и среднего яруса. Имеют вид плотного образования белого цвета и значительной высоты около пяти километров. Высококучевые облака располагаются на границе среднего яруса.

- Кучевое-ливневые или дождливые, грозовые, располагаются на высоте около пятистах до двух тысяч метров им свойственно выпадение атмосферных осадков таких как снег, дождь.

- Слоистые облака располагаются на высоте около тридцати и четырехсот метров. Имеют вид слоя взвеси с небольшой плотностью.

При смешивании таких типов как перистые, слоистые, кучевые образуются другие виды, перисто-кучевые, перисто-слоистые и другие. Также помимо основной классификации в природе существуют и другие виды, лентикулярные, перламутровые, серебристые. Облака в следствии природных катастроф таких как извержение вулкана, пожара образуется такой вид как пирокумулятивный.

Количество осадков – это вода в жидком и твердом состоянии, выпадающая из облаков, или осаждающаяся непосредственно из воздуха. Среди осадков, выпадающих из облаков, наиболее распространены: дождь, морось, снег, мокрый снег, снежная крупа, ледяная крупа, снежные зерна,

град, ледяной дождь, ледяные иглы. Непосредственно из воздуха осаждаются: роса, иней, изморозь. Осаждение переохлажденных: дождя, мороси и тумана, на земле и предметах дает гололед. Измеряется в высоте слоя воды в миллиметрах, который образовался бы на поверхности земли, если бы она была абсолютно ровная, то есть осадки бы не стекали, не просачивались в почву и не испарялись.

## ГЛАВА 2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАННЫХ

### 2.1 Турбулентность

Турбулентностью называют хаотическое движение (флуктуации) в различных средах течений жидкости или газа. В этих средах образуются вихри разных размеров, соответственно меняется и их термодинамические и гидродинамические характеристики, и изменение происходит их хаотично. Таким образом они отличаются от ламинарных течений, в большинстве случаев все течения в жидкости и газе в природе испытывают турбулентность.

Течения подвергающиеся турбулентности, также именуются как турбулентное течение. Это форма течения в жидкости и газе в которых происходит неупорядоченные движения по хаотичным траекториям, в следствии чего происходит перемешивание между слоями. Турбулентность в области технических устройств более детально описаны и изучены в пограничном слое, трубах и каналах.

На рисунке 3 отображены виды турбулентного течения.

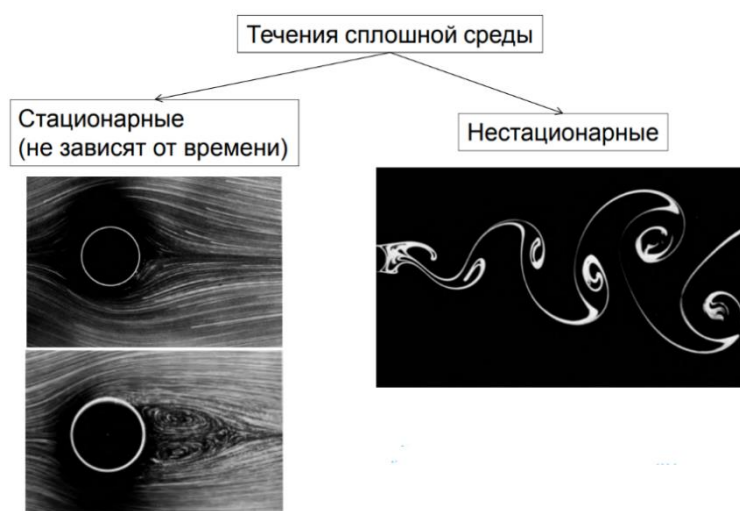


Рис. 3 – Виды турбулентного течения

Примеси, содержащиеся в воздухе, переносятся благодаря мощному механизму именуемому турбулентностью. Возникновение турбулентного

потока всевозможных субстанций таких как тепло, водяной пар, газ, импульс происходит благодаря турбулентности. Рассмотрим, такой пример, когда солнце передаёт энергию земле, то небольшая энергия поглощается атмосферой, а оставшаяся часть попадает на поверхность и здесь вступает в действие турбулентность которая позволяет энергию передать через приземный слой в атмосферу.

Атмосферная турбулентность, как хаотичное вихревое движение воздуха, занимает важное место в формировании погодных условий в том числе и для авиационной отрасли. Для ее предсказания необходимы эмпирические данные о турбулентности в атмосфере.

В основном, комплексно изучаются усредненные свойства геофизических полей (такие как скорость среды, температура и плотность). Однако это не относится к свойствам мелкомасштабной турбулентности, таким как энергия и масштаб турбулентности, скорость вязкого рассеяния, вертикальные турбулентные потоки импульса.

Приземный слой атмосферы отличается от других слоев атмосферы своей значительной суточной изменчивостью каждого метеорологического параметра. Использование общих средств измерения не подходит для временных и пространственных масштабов данной изменчивости. Невозможно полностью описать текущие процессы и правильно охарактеризовать вертикальную структуру приповерхностных слоев без необходимого объема экспериментальных данных. Это становится возможным только благодаря использованию специальных аппаратных средств, предназначенных для регистрации различных видов данных.

Исследование характеристик турбулентности проводится с помощью математической обработки. На первом этапе производится расчет параметров, описывающих среднее состояние атмосферы в период от  $t_s - t_{avg}$  до  $t_s$  (характеристики воздуха, ветра, стандартные параметры, которые должны измеряться по рекомендации Росгидромета в интервале между измерениями).

Для второго этапа расчета параметров атмосферной турбулентности необходимо описать температурные импульсы и компоненты скорости ветра, особенно значимые в теории атмосферной турбулентности. Для температуры:  $T' = T - \langle T \rangle$ , для вертикальной составляющей скорости ветра:  $w' = w - \langle w \rangle$ , для продольной составляющей скорости ветра:  $u' = (\langle v_s \rangle \times (v_s - \langle v_s \rangle) + \langle v_e \rangle \times (v_e - \langle v_e \rangle)) / V_h$ , для поперечной составляющей скорости ветра:  $v' = (-\langle v_s \rangle \times (v_e - \langle v_e \rangle) + \langle v_e \rangle \times (v_s - \langle v_s \rangle)) / V_h$ , где  $V_h$  – это направление среднего вектора горизонтального ветра. Затем с помощью стандартных математических соотношений рассчитать параметры атмосферной турбулентности. За основу берется теория сходства Монина-Обухова.

## 2.2 Статистические методы исследования данных.

Описательная статистика – один из разделов статистической науки, в рамках которого изучаются методы описания и представления основных свойств данных. Позволяет обобщать первичные результаты, полученные при наблюдении или в эксперименте. Применение описательной статистики включает следующие этапы:

- 1) Сбор данных
- 2) Категоризация данных
- 3) Обобщение данных
- 4) Представление данных

Для более глубоких выводов о природе рассматриваемых данных используется [индуктивная статистика](#).

В рамках описательной статистики применяются следующие простейшие техники:

- Графическое представление данных.
- Табличное представление данных.
- Использование обобщающих статистик, таких, как математическое ожидание, медиана, дисперсия и т.д.

Обобщающие статистики используются для решения двух основных задач:

- Показать общее в характере совокупности данных.
- Показать, в чём и насколько данные различны.

При обобщении количественных величин, таких, как длина, вес или возраст, для решения первой задачи чаще всего применяются среднее арифметическое, медиана или мода, если распределение унимодально. Используются так же квантили – числовые характеристики функции распределения. Для решения второй задачи применяют такие меры неоднородности данных, как дисперсия, квадратный корень из дисперсии – стандартное отклонение, интерквантильный размах, стандартная ошибка среднего.

Корреляция Пирсона. Данный подход разработали Карл Пирсон, Фрэнсис Эджуорт и Рафаэль Уэлдон в 90-х годах XIX века. Коэффициент корреляции изменяется в пределах от минус единицы до плюс единицы. Применяется для исследования взаимосвязи двух переменных, измеренных в метрических шкалах на одной и той же выборке. Он позволяет определить, насколько пропорциональна изменчивость двух переменных.

Для выявления меры корреляции между двумя и метеорологическими параметрами был использован коэффициент корреляции Пирсона. Заметим, что данный подход позволяет определить лишь наличие линейной взаимосвязи между исследуемыми параметрами.

На входные метеоданные были наложены следующие ограничения:

- показатели должны быть измерены в количественной шкале;
- на вход должно подаваться не более двух типов метеоданных – исследовалась только парная корреляция.

Расчет коэффициента корреляции Пирсона для выборки наблюдений для пар переменных  $(x, y)$  производился по следующей формуле (Рис. 4):

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - M_x) (y_i - M_y)}{\sqrt{\sum (x_i - M_x)^2 \cdot \sum (y_i - M_y)^2}}$$

Рис. 4 – Расчет коэффициента корреляции Пирсона

Ранговый коэффициент корреляции Спирмена ( $\rho$ ) является мерой монотонной корреляции между двумя переменными и, поэтому, он лучше улавливает нелинейные монотонные корреляции, чем  $r$  Пирсона. Его значение лежит в диапазоне от -1 до +1, -1 указывает на общую отрицательную монотонную корреляцию, 0 указывает на отсутствие монотонной корреляции и 1 указывает на общую положительную монотонную корреляцию.

Чтобы вычислить  $\rho$  для двух переменных  $X$  и  $Y$ , необходимо разделить ковариацию ранговых переменных  $X$  и  $Y$  на произведение их стандартных отклонений.

Расчет рангового коэффициента корреляции Спирмена осуществляется по следующей формуле (Рис.5).

$$P = 1 - \frac{6 \times \sum (D^2)}{n \times (n^2 - 1)}$$

Рис. 5 – Расчет рангового коэффициента корреляции Спирмена

Семантика коэффициента ранговой корреляции Кендалла аналогична ранговому коэффициенту корреляции Спирмена. Ранговый коэффициент корреляции Кендалла ( $\tau$ ) измеряет порядковую связь между двумя переменными. Его значение лежит в диапазоне от -1 до +1, -1 указывает на общую отрицательную корреляцию, 0 указывает на отсутствие корреляции и 1 указывает на общую положительную корреляцию.

Чтобы вычислить  $\tau$  для двух переменных  $X$  и  $Y$ , определяется количество согласованных и дискордантных пар наблюдений.  $\tau$  задается числом согласованных пар минус дискордантные пары, деленные на общее количество пар.



Формула вычисления коэффициента ранговой корреляции Кендалла отличается от формулы коэффициента корреляции r-Пирсона и может быть выражена как (Рис.6).

$$\tau = \frac{P(p) - P(q)}{N \frac{(N-1)}{2}}$$

Рис.6 - Вычисления коэффициента ранговой корреляции Кендалла

Phi\_K – это новый и практичный коэффициент корреляции, который последовательно работает между категориальными, порядковыми и интервальными переменными, захватывает нелинейную зависимость и возвращается к коэффициенту корреляции Пирсона в случае двумерного нормального входного распределения. Объединенные особенности Phi\_K формируют преимущество перед существующими коэффициентами. Во-первых, он работает последовательно между категориальными, порядковыми и интервальными переменными. Во-вторых, он захватывает нелинейную зависимость. В-третьих, он возвращается к коэффициенту корреляции Пирсона в случае двунаправленного нормального входного распределения. Это полезные функции при изучении матрицы корреляции переменных со смешанными типами.

## **ГЛАВА 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ. СТРУКТУРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.**

### **3.1 Обобщенный алгоритм работы программы**

Входными данными для программы являются данные, полученные с метеостанции АМК-03. Данные содержат информацию о температуре, южном компоненте, восточном компоненте, вертикальном компоненте, атмосферном давлении, влажности воздуха, признаке ошибки.

Выполнения программы начинается с инициализации необходимых переменных, библиотек, методов и классов, а также обработкой соответствующей команды от пользователя, которая запускает основной цикл.

Первым шагом программы является выбор временного отрезка. Программа производит поиск необходимых файлов на сервере. Если данных в таком временном отрезке нет, то программа сообщает об этом пользователю. Получив адреса для загрузки файлов, программа начинает загрузку файлов с последующим сохранением их на локальном диске. Далее программа запускает функцию по обработке.

Обработка записывает полученные значения в один файл data.20B. После обработки, в функционале программы есть возможность сохранить данные в формате CSV для дальнейших исследований без предварительной загрузки и ожидания пока они загрузятся.

Далее функционал позволяет получить описательную статистику и корреляционные зависимости по нашим данным в отдельном диалоговом окне (для удобного исследования и рассмотрения).

Для каждого параметра можно визуализировать их исходный линейный график.

При переходе к математическому расчету параметров турбулентности открывается в отдельном диалоговом окне (после нажатия кнопки расчета) таблица, которая заполняется вычисленными параметрами. Также функционал позволяет построить графики для полученных значений.

### **3.2 Структура метеорологических параметров.**

Метеорологические измерения очень важный фактор в изучении атмосферы в науке, полученные данные этих измерений позволяют составить общую картину о физико-химических процессах в исследуемой атмосфере. В которую входят такие данные как о строении и составе атмосферы и выявить условия формирования оптических и акустических явлений.

В нашем случае мы получаем данные из метеостанции АМК-03, прибор позволяющий получить наши параметры для дальнейшей математической обработки называется анемометр. Анемометр в автоматическом режиме записывает параметры температуру, давление, влажность и компоненты скорости ветра.

Полученные данные из анемометра, приводятся в массивах измерений собранные в 10 минутные отрезки наблюдений, интервал между значениями от начала и конца наблюдений считается равным 12,5 миллисекунд.

В математической обработке метеорологических величин целью является вычисление и формирование общей картины с учетом усреднения.

В исследуемом файле, полученного с сервера метеостанции, записаны байты, несущие информацию о дате и времени регистрации первого отсчета данных (ниже они описываются парами: наименование числового параметра – размер его записи в байтах:

1. год – 2 байта;
2. месяц – 2 байта;
3. день – 2 байта;
4. час – 2 байта;
5. минута – 2 байта;
6. секунда – 2 байта;
7. миллисекунда – 2 байта.

**Всего = 14 байтов**

8. Далее – высота измерений  $z_{\text{и}}$ , умноженная на 100 и округленная до целого – 2 байта;

**Всего = 16 байтов**

9. Номер типа (выбирается из таблицы) подстилающей поверхности  $p^{\wedge}$  – 1 байт.

**Всего = 17 байтов**

После этого записываются мгновенные значения метеорологических параметров для каждого цикла измерений, повторяющихся через интервал  $\Delta t_{\text{и}} = 1/f_{\text{и}} = 12,5$  мс (при  $f_{\text{и}} = 80$  Гц):

1. Температуры воздуха  $T$  в  $^{\circ}\text{C}$ , умноженный на 100 и округленной до целого – 2 байта;
2. Южный компонент вектора горизонтальной скорости ветра  $v_s$  в м/с, умноженный на 100 и округленный до целого – 2 байта;
3. Восточный компонент вектора горизонтальной скорости ветра  $v_e$  в м/с, умноженный на 100 и округленный до целого – 2 байта;
4. Вертикальный компонент полного вектора скорости ветра  $w$  в м/с, умноженный на 100 и округленный до целого – 2 байта;
5. Атмосферное давление  $P$  в мм. рт. ст., умноженное на 10 и округленное до целого – 2 байта;
6. Относительная влажность воздуха  $r$  в %, умноженная на 100 и округленная до целого – 2 байта;
7. Признак ошибки  $\text{err}$  – 1 байт (в пределах от 0 до 9)

**Всего = 13 байтов**

По завершению записи каждого бинарного файла в его конец дописываются дата и время регистрации последнего отсчета данных изделия, записываемого в файл:

1. год – 2 байта;
2. месяц – 2 байта;
3. день – 2 байта;
4. час – 2 байта;
5. минута – 2 байта;
6. секунда – 2 байта;
7. миллисекунда – 2 байта.

### Всего 14 байтов

Двухбайтовые параметры записываются младшим байтом вперед, т.е. сначала младший байт числа, затем старший байт.

Возможные значения признака ошибки `err` - в пределах от 0 до 9. Во всех записях данных, помеченных значением `err > 0`, значения при математической обработке должны учитываться как сомнительные в их достоверности.

### 3.3 Блок схема разработанного приложения

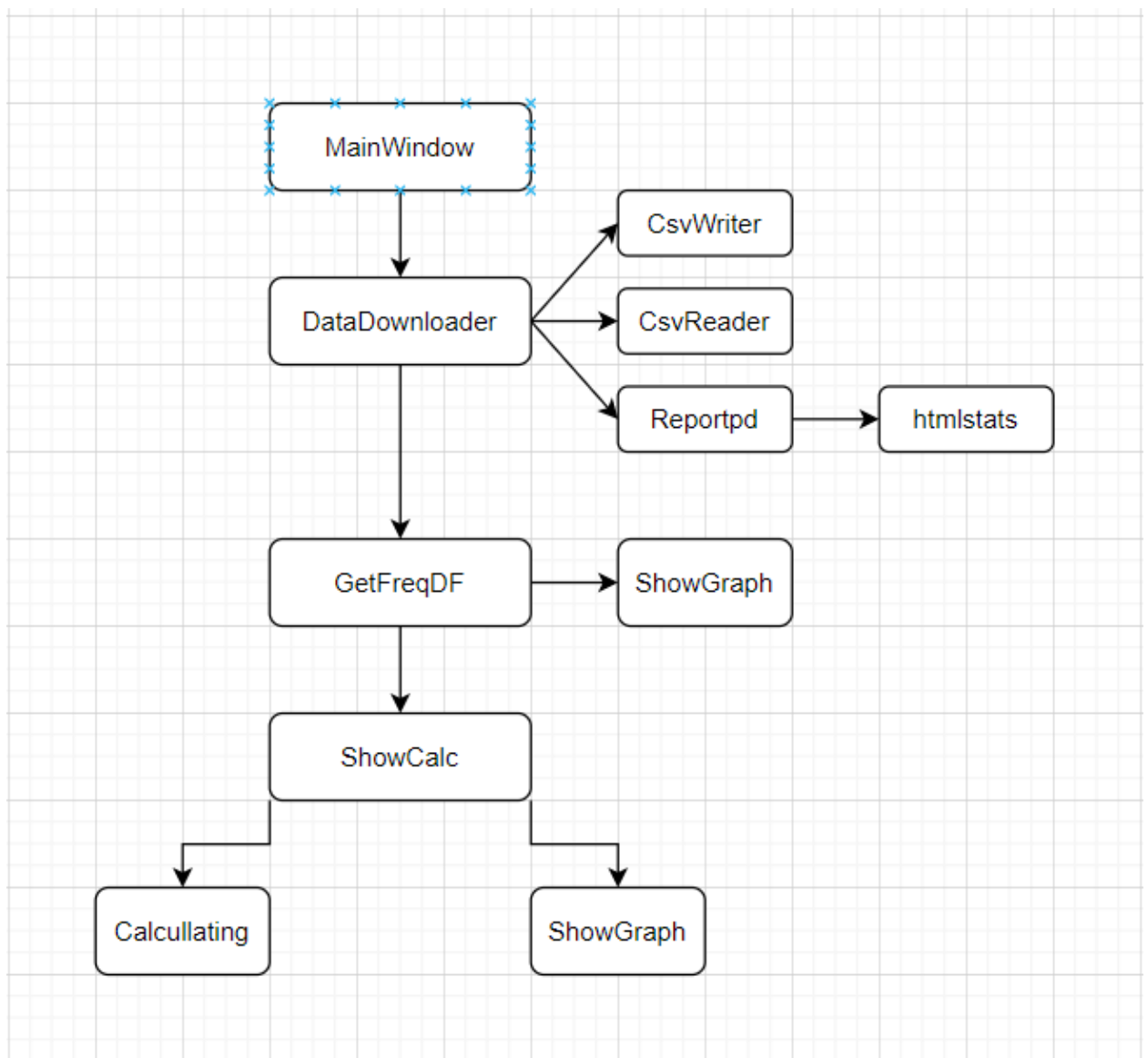


Рис. 4 – Общая блок схема программы

Первый класс `MainWindow` запускается с запуском программы, предоставляет главный интерфейс программы.

Второй класс DataDownloader начинает загрузку выбранного диапазона, которая скачивает данные и обрабатывает. Классы CsvWriter, CsvReader позволяют в формате csv сохранить и загрузить скаченные данные в программу. После преобразования Reportpd позволяет получить по скаченным данным полную описательно-корреляционную статистику, которая создает в папке с программой html-отчёт.

Так как полученные данные после обработки следуют с частотой повторения 12,5 мс, то для того, чтобы усреднить данные, используем функцию getFreqDataFrame, которой можно задать любую частоту повторений в формате '1s', '1m', '1h' и т.д. Также можно построить график для каждого параметра, который отобразит класс ShowGraph.

Класс ShowCalculating позволяет с помощью класса calculating рассчитать параметры турбулентности по запрошенным данным, а также визуализировать некоторые параметры турбулентности с помощью showGraph. Автоматически рассчитанные параметры сохраняются в таблицу xls.

## **ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОЦЕНКЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ**

### **4.1 Формирование метеорологических параметров, усреднение и визуализация мгновенных значений**

При запуске открывается главный интерфейс программы, отображённый на рисунке 5. В программе возможен выбор временного интервала, реализована динамическая загрузка и обработка данных по нажатию кнопки «загрузить с сервера».

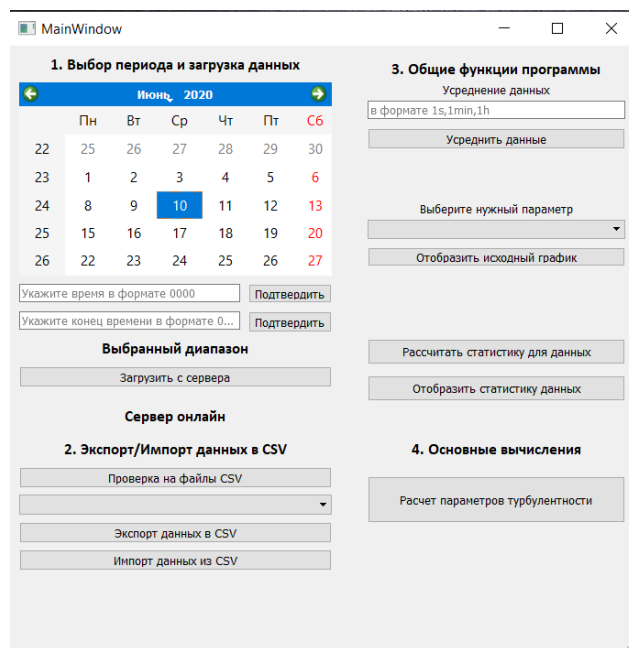


Рис.5 – Главное окно программы

В программе возможно сохранение и загрузка загруженных данных в формате csv отображено на рисунке 6, для автономной работы программы, чтобы работать с параметрами турбулентности без подключения к интернету.

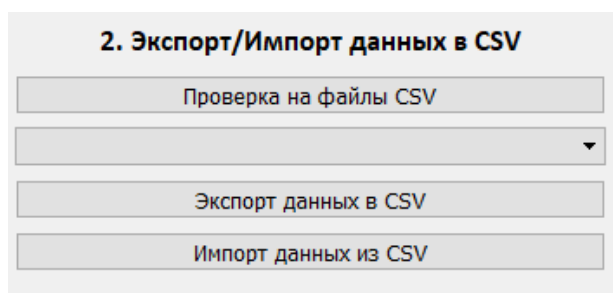


Рис.6 – Сохранение и загрузка данных

Реализовано усреднение загруженных данных, усреднение указываются в формате «s», «min», «h». Возможно усреднение данных по секундам, минутам и часам на рисунке 7.

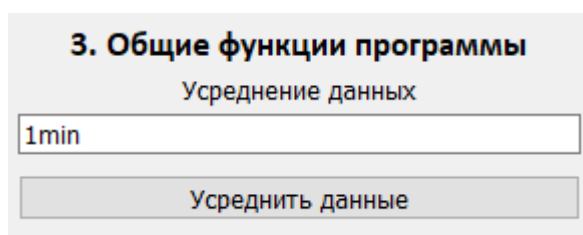
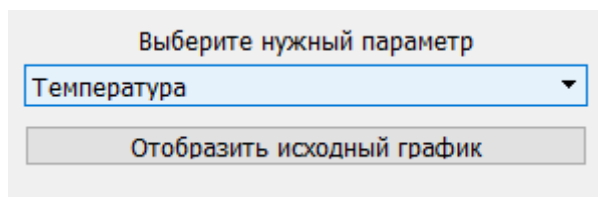


Рис.7 – Усреднение данных

Визуализация исходных данных для каждого полученного параметра отображена на рисунке 8.



Выберите нужный параметр

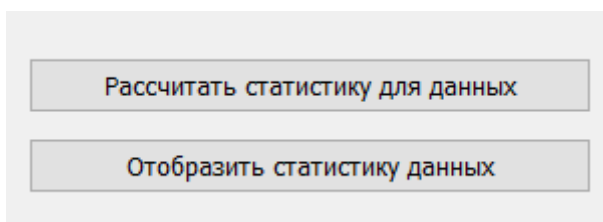
Температура ▼

Отобразить исходный график

Рис.8 – Визуализация полученных параметров

#### **4.2 Вычисление параметров описательной статистики, первичного корреляционно-регрессионного анализа и характеристик турбулентности приземного слоя атмосферы по выбранной совокупности данных**

В программе представлен функционал для вычисления параметров описательной статистики и корреляционного анализа. Отображен на рисунке 9.



Рассчитать статистику для данных

Отобразить статистику данных

Рис. 9 – Описательная статистика и корреляционный анализ

После расчета предоставляется возможность подробно ознакомиться с полученным результатами по нажатию «Отобразить статистику данных», которая отображает в отдельном окне вычисленные параметры. Окно представлено на рисунке 10.



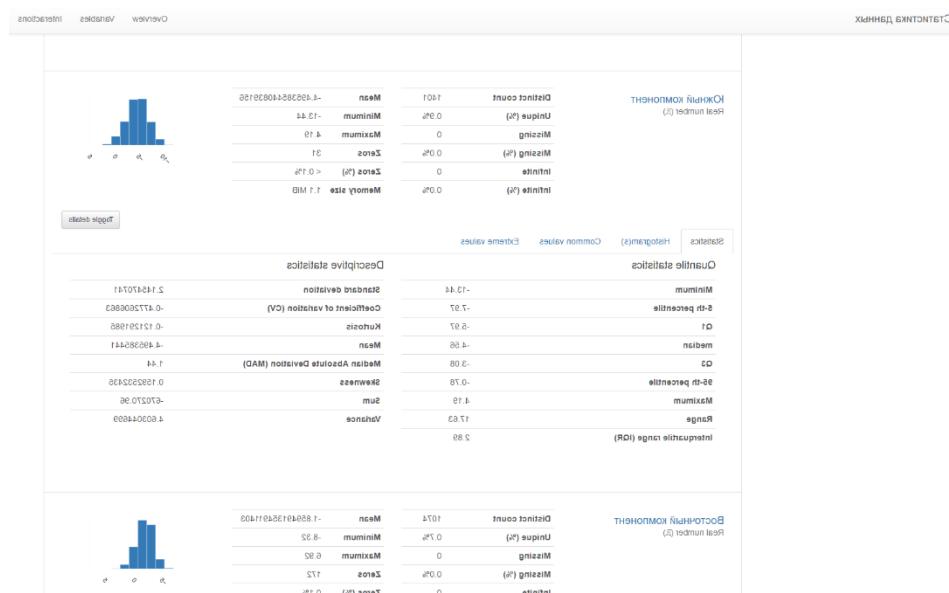


Рис. 10 – Отображение полученных результатов статистики

Главное вычисление данной работы – параметров турбулентности вызывается в четвертом разделе программы. Отображено на рисунке 11.

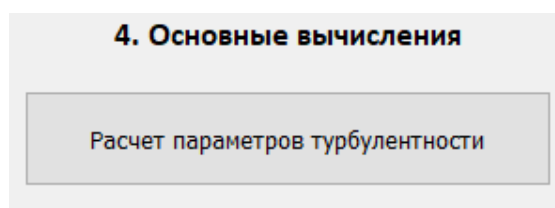


Рис. 11 – Вычисление параметров турбулентности

Существует много теоретических соотношений для вычисления характеристик турбулентности атмосферы. В работе использовалась самая простая модель, базирующаяся на теории подобия Мони́на-Обухова.

Используя средние величины ортогональных компонентов скорости ветра  $\langle v_s \rangle$  – южная компонента вектора горизонтальной скорости ветра,  $\langle v_e \rangle$  – восточная компонента вектора горизонтальной скорости ветра и  $\langle w \rangle$  – вертикальная компонента полного вектора скорости ветра, вычисляются:

$$1) \langle V \rangle = \sqrt{\langle v_s \rangle^2 + \langle v_e \rangle^2 + \langle w \rangle^2} \quad (1.1) - \text{Модуль среднего вектора скорости ветра, м/с}$$

Код программы:

```
V_m = np.sqrt(np.mean(np.square(v_s)) + np.mean(np.square(v_e)) + np.mean(np.square(w)))
```

2)  $\langle V_h \rangle = \sqrt{\langle v_s \rangle^2 + \langle v_e \rangle^2}$  (1.2) – Средняя скорость горизонтального ветра, м/с

Код программы:

```
V_h_m = np.sqrt(np.mean(np.square(v_s)) + np.mean(np.square(v_e)))
```

3)  $\psi = \arccos\left(\frac{\langle V_h \rangle}{\langle V \rangle}\right)$  (1.3) – Угол наклона к горизонту среднего вектора скорости ветра, °

Код программы:

```
psi = np.arccos(V_h_m / V_m)
```

$$4) \quad \langle D \rangle = \begin{cases} \pi + f, \langle v_s \rangle > 0,01 \\ f, \langle v_s \rangle < -0,01; \langle v_e \rangle \geq 0 \\ 2\pi + f, \langle v_s \rangle < -0,01; \langle v_e \rangle < 0 \\ \frac{\pi}{2}, |\langle v_s \rangle| \leq 0,01; \langle v_e \rangle \geq 0 \\ \frac{3\pi}{2}, |\langle v_s \rangle| \leq 0,01; \langle v_e \rangle < 0 \end{cases} \quad (1.4) \quad \text{– Направление}$$

средней скорости горизонтального ветра  $\langle D \rangle$  по формуле, где  $f = \arctg\left(-\frac{\langle v_e \rangle}{\langle v_s \rangle}\right)$ .

Код программы:

```
f = np.arctan(-v_e_m / v_s_m)
if v_e_m > 0.01: D = np.pi + f
if v_s_m < -0.01 and v_e_m >= 0: D = np.pi + f
if v_s_m < -0.01 and v_e_m < 0: D = 2 * np.pi + f
if np.abs(v_s_m) <= 0.01 and v_e_m >= 0: D = 0.5 * np.pi
if np.abs(v_s_m) <= 0.01 and v_e_m < 0: D = 1.5 * np.pi
```

$$5) \quad e_w = \left(6.112 * e^{\frac{17.62T}{243.12+T}}\right) * (1.0016 + 3.15 * 10^{-6}P - 0.074P^{-1})$$

(1.5) – Давление насыщенного пара ( $e_w$ , гПа) – это пар, находящийся в термодинамическом равновесии с жидкостью или твердым телом того же состава. В формуле (1.5)  $T$  – температура,  $p$  – атмосферное давление.

Код программы:

```
e_w = (6.112 - np.exp(17.62 * T / 243.12 + T)) * (1.0016 + 3.15 * (10 ** -6) * -0.074 * (1 / P))
```

6)  $e = \frac{e_w * r}{100\%}$  (1.6) – Среднее значение в атмосфере для упругости (давления) водяного пара (e, гПа), где r – относительная влажность воздуха.

Код программы:

$e = e\_w * r.reshape(-1, 1) / 100$

7)  $E_d = e_w - e$  (1.7) – Дефицит влажности (Ed, гПа). Это разность между давлением насыщенного водяного пара при данной температуре и фактическим парциальным давлением. Максимальные значения отмечаются летом, минимальные – зимой.

Код программы:

$E\_d = e\_w - e$

8)  $q = \frac{r * P * M}{R * T * 100\%}$  (1.8) – Абсолютная влажность воздуха (q, г/м3). Это масса водяного пара в единице объема воздуха, где M – молярная масса сухого воздуха, R – универсальная газовая постоянная.

Код программы:

$q = (r * P * 0.029) / (8.31 * (T + 273.15) * 100)$

9)  $\rho = \frac{P * M}{R * T}$  (1.9) – Плотность воздуха (p, г/м3) – масса газа атмосферы на единицу объема или удельная масса воздуха при естественных условиях.

Код программы:

$p = (P * 0.029) / (8.31 * (T + 273.15))$

На этом этапе вначале выполняется расчет и формирование из мгновенных значений данных ультразвуковых измерений T, vs, ve и w новых временных рядов, описывающих их турбулентные пульсации:

10)  $T' = T - \langle T \rangle$  (1.10) – Пульсация температуры T'.

Код программы:

$T\_sh = T - T\_m$

11)  $w' = w - \langle w \rangle$  (1.11) – Пульсация вертикального компонента скорости ветра.

Код программы:

$w\_sh = w - w\_m$

12)  $u' = (\langle v_s \rangle * (v_s - \langle v_s \rangle) + \langle v_e \rangle * (v_e - \langle v_e \rangle)) / \langle V_h \rangle$  (1.12) – Пульсация продольного компонента скорости ветра.

Код программы:

```
u_sh = ((v_s_m * (v_s - v_s_m)) + (v_e_m * (v_e - v_e_m))) / V_h_m
```

13)  $v' = (-\langle v_s \rangle * (v_e - \langle v_e \rangle) + \langle v_e \rangle * (v_s - \langle v_s \rangle)) / \langle V_h \rangle$  (1.13) –

Пульсация поперечного компонента ветра.

Код программы:

```
v_sh = ((-v_s_m * (v_e - v_e_m)) + (v_e_m * (v_s - v_s_m)))
```

14)  $E_v = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2) / 2$  (1.14) – полная энергия турбулентных движений (где  $\sigma_u^2, \sigma_v^2, \sigma_w^2$  – дисперсии турбулентных пульсаций трех компонентов скорости ветра  $u', v', w'$ ).

Код программы:

```
u_dispersiya = np.sum(((v_s - np.mean(v_s)) ** 2)) / (len(v_s) - 1)
```

```
v_dispersiya = np.sum(((v_e - np.mean(v_e)) ** 2)) / (len(v_e) - 1)
```

```
w_dispersiya = np.sum(((w - np.mean(w)) ** 2)) / (len(w) - 1)
```

```
E_v = (u_dispersiya + v_dispersiya + w_dispersiya) / 2
```

15)  $I_v = E_v / V_m^2$  (1.15) – относительная интенсивность флуктуаций скорости ветра.

Код программы:

```
I_v = E_v / V_m ** 2
```

16)  $E_t = \sigma_t^2 / 2$  (1.16) – энергия температурных флуктуаций, (где  $\sigma_t^2$  – дисперсия турбулентных пульсаций температуры  $T'$ ).

Код программы:

```
T_dispersiya = np.sum(((T_sh - np.mean(T_sh)) ** 2)) / (len(T_sh) - 1)
```

```
E_t = (T_dispersiya ** 2) / 2
```

17)  $\langle u' * w' \rangle$ . (1.17) – момент потока импульса.

Код программы:

```
moment_potok_impuls = np.mean(u_sh * w_sh)
```

18)  $\langle T' * w' \rangle$  (1.18) – момент потока тепла.

Код программы:

```
moment_potok_T = np.mean(T_sh * w_sh)
```

19)  $\tau = -\rho \langle u' * w' \rangle$  (1.19) – вертикальный поток импульса, где  $\rho$  – плотность воздуха.

Код программы:

```
tau = -np.mean(p) * (u_sh_w_sh_m)
```

20)  $H = c_p * \rho * \langle T' * w' \rangle$  (1.20) – вертикальный поток тепла, где  $c_p$  – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении.

Код программы:

```
cp = 1
```

```
H = cp * np.mean(p) * (T_sh_w_sh_m)
```

21)  $v^* = \sqrt{-\langle u' * w' \rangle}$  (1.21) – скорость трения (масштаб ветра).

Код программы:

```
v_zvedochka = np.abs(u_sh_w_sh_m)
```

22)  $T^* = -\langle T' * w' \rangle / v^*$  (1.22) – масштаб температуры.

Код программы:

```
T_zvedochka = - T_sh_w_sh_m * v_zvedochka
```

23)  $C_d = (\frac{v^*}{\langle V \rangle})^2$  (1.23) – коэффициент сопротивления потоку.

Код программы:

```
C_d = (v_zvedochka / V_m) ** 2
```

24)  $C_T^2 = \langle [T'(t + \Delta t - T'(t))]^2 \rangle * (\langle V \rangle \Delta t)^{-2/3}$  (1.24) – структурная постоянная температурных флуктуаций, где  $V$  – модуль среднего вектора скорости ветра,  $\Delta t$  – временной интервал между измерениями мгновенных метеорологических величин.

Код программы:

```
dt = 0.0125
```

```
C_T_kv = np.mean((T_sh[1::1] - T_sh[0:len(T_sh) - 1:1]) ** 2) / (V_m * dt) ** (-2 / 3)
```

25)  $C_V^2 = \langle [u'(t + \Delta t - u'(t))^2] \rangle * (\langle V \rangle \Delta t)^{-2/3}$  (1.25) – структурная постоянная ветровых флуктуаций.

Код программы:

$C\_V\_kv = np.mean((u\_sh[1::1] - u\_sh[0:len(u\_sh) - 1:1]) ** 2) / (V\_m * dt) ** (-2 / 3)$

26)  $C_{na}^2 = \frac{C_T^2}{4\langle T \rangle^2} + \frac{C_V^2}{\langle c \rangle^2}$  (1.26) – структурная постоянная флуктуаций акустического показателя преломления, где  $T_k$  – температура воздуха в Кельвинах,  $c$  – скорость звука.

Код программы:

$c = 331$

$C\_na\_kv = C\_T\_kv / ((4 * np.mean(T + 273.15)) ** 2) + (C\_V\_kv / c ** 2)$

27)  $C_{no}^2 = \{8 * 10^{-5} * \langle P \rangle / \langle T \rangle^2\}^2 * C_T^2$  (1.27) – структурная постоянная флуктуаций оптического показателя преломления, где  $P$  – атмосферное давление в гПа.

Код программы:

$C\_no\_kv = (8 * 10 ** (-5) * np.mean(P) * 1.33322 / (np.mean(T + 273.15) ** 2)) ** 2$

28)  $L^* = \langle T \rangle * (v^*)^2 / \chi * g * T^*$  (1.28) – масштаб Монина-Обухова, где  $\chi = 0,4$  и  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Код программы:

$L\_zvezdochka = (np.mean(T\_m) * (v\_zvedochka ** 2) / (0.4 * 9.81 * T))$

Перечисленных параметров достаточно для оценивания динамического режима турбулентности в приземном слое атмосферы, в том числе для определения класса устойчивости атмосферной стратификации.

Для дальнейших расчетов у нас есть условие, Применяемые для приземного слоя атмосферы универсальные функции подобия  $\Phi_V$  и  $\Phi_T$  от безразмерного параметра  $\xi = z/L^*$  (1.30) являются полуэмпирическими. Их общий вид устанавливается из теоретического анализа приграничного (к земной поверхности) турбулентного потока и вычисляются по формулам (1.31), (1.32).

$$\varphi_v(\xi) = \begin{cases} 1 + 4,7\xi, \dots \xi > 0 \\ (1 - 15\xi)^{-1/4}, \dots \xi < 0 \end{cases} \quad (1.31)$$

$$\varphi_T(\xi) = \begin{cases} 0,74 + 4,7\xi, \dots \xi > 0 \\ 0,74 * (1 - 9\xi)^{-\frac{1}{2}}, \dots \xi < 0 \end{cases} \quad (1.32)$$

$$30) \frac{du}{dz} = \frac{v^*}{\chi} \varphi_v\left(\frac{z_m}{L^*}\right) \quad (1.33) - \text{Локальный градиент скорости ветра на высоте}$$

измерений  $z_m$ .

Код программы:

$KSI = z / L\_zvezdochka$

if np.sum(L\_zvezdochka >= 0) == len(L\_zvezdochka):

$LGSV = (v\_zvedochka / 0.4) * (1 + 4.7 * np.mean(KSI))$

else:

$LGSV = (v\_zvedochka / 0.4) * ((1 - 15 * KSI) ** (-1 / 4))$

$$31) \frac{d\theta}{dz} = \frac{T^*}{\chi} \varphi_T\left(\frac{z_m}{L^*}\right) \quad (1.34) - \text{Локальный градиент потенциальной}$$

температуры на высоте  $z_m$ .

Код программы:

if np.sum(L\_zvezdochka >= 0) == len(L\_zvezdochka):

$LGPT = (T\_zvedochka / 0.4) * (0.74 + 4.7 * np.mean(KSI))$

else:

$LGPT = (T\_zvedochka / 0.4) * (0.74 * (1 - 9 * KSI) ** (-1 / 2))$

$$32) \frac{dT}{dz} = \frac{d\theta}{dz} - 0,0098 \quad (1.35) - \text{Локальный градиент температуры на}$$

высоте  $z_m$ .

Код программы:

$LGT = LGPT - 0.0098$

$$33) K_m = v^{*2} / \frac{du}{dz} \quad (1.36) - \text{Коэффициент турбулентного обмена}$$

количества движения.

Код программы:

$K\_m = v\_zvedochka ** 2 / LGSV$

$$34) K_h = v^* * T^* / \frac{d\theta}{dz} \quad (1.37) - \text{Коэффициент турбулентного обмена тепла.}$$

Код программы:

$$K_h = v_{\text{zvedochka}} * T_{\text{zvedochka}} / LGPT$$

$$35) L_0 = \left( K_m / \left| \frac{du}{dz} \right| \right)^{1/2} \quad (1.38) - \text{Внешний масштаб турбулентности.}$$

Код программы:

$$L_0 = \text{np.sqrt}(K_m / \text{np.abs}(LGSV))$$

$$36) \varepsilon = K_m \left( \frac{du}{dz} \right)^2 - \left( \frac{g}{\langle T \rangle} \right) K_h \frac{d\theta}{dz} \quad (1.39) - \text{Скорость диссипации энергии}$$

ветровых флуктуаций.

Код программы:

$$\text{epsilon} = K_h * (LGSV ** 2) / 9.8 * T_m * K_h * LGPT;$$

$$37) N = K_h \left( \frac{d\theta}{dz} \right)^2 \quad (1.40) - \text{Скорость диссипации энергии температурных}$$

флуктуаций

Код программы:

$$N = K_h * LGPT$$

$$38) R_i = \left( \frac{g}{\langle T \rangle} \right) \left( \frac{d\theta}{dz} \right) / \left( \frac{du}{dz} \right) \quad (1.41) - \text{Градиентное число Ричардсона.}$$

Код программы:

$$R_i = (9.8 / T_m) * LGPT / LGSV$$

После нажатия кнопки «Расчет параметров турбулентности», открывается отдельное окно, позволяющее вычислить параметры турбулентности, а также визуализировать полученные значения (рис. 12).



	Значение
Модуль среднего вектора скорости ветра	5.393246337838284
Средняя скорость горизонтального ветра	5.0927925898897906
Угол наклона к горизонту среднего вектора скорости ветра	0.3353634907458734
Направление средней скорости горизонтального ветра	5.899505688019225
Давление насыщенного пара	6.10792835997232
Средние значения в атмосфере для упругости (давления) водяного пара	5.816117455356188
Дефицит влажности	0.29181090461613207
Абсолютная влажность воздуха	0.00900063487367856
Плотность воздуха	0.00945221819105910
Пульсация температуры	3.902602147167217e-

Рассчитать

Отобразить полученные данные в виде графиков

Давление насыщенного пара Показать

Рис. 12 – Результаты вычислений параметров турбулентности

После вычислений параметров, программа автоматически записывает полученные значения в формате xls.

Предоставляет выбор отображения полученных значений (рис. 13).

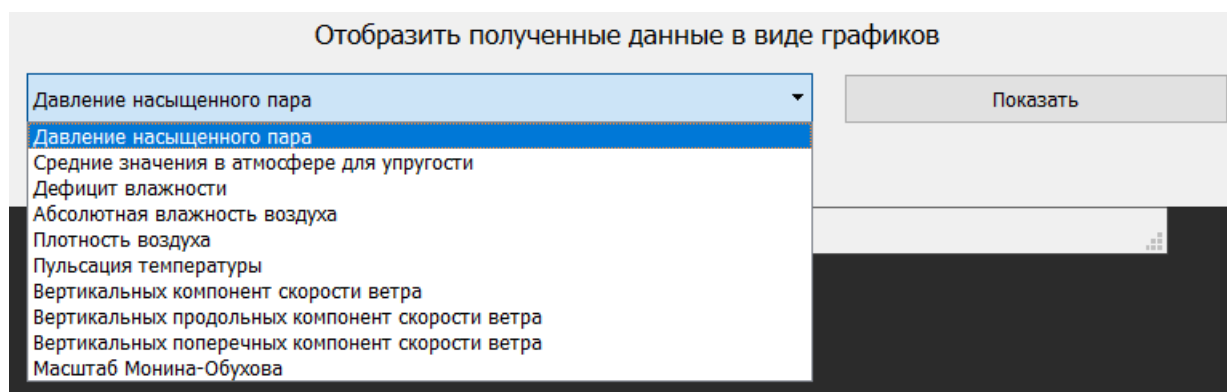


Рис. 13 – Визуализация полученных данных

#### 4.3 Обзор проведения исследования изменения характеристик турбулентности приземного слоя атмосферы в различных временных масштабах.

Проведем исследования изменения характеристик методом укрупненного исследования, где данные будут взяты за каждый час в течении 12 часов и подсчитаны характеристики с усреднением в 1 секунду.

Для исследования возьмем дату 18.01.20 г. и для каждого часа в течении 12 часов этого дня вычислим характеристики турбулентности.

Отообразим вычисление для каждого часа на временном интервале от 00:00 до 01:00 в качестве примера на рисунке 14.

Рис.14 – Заданные условия в исследовании

Вычислим характеристики турбулентности по данному часу и внесем в таблицу 3.

Таблица 3 – Характеристики турбулентности

Вычисленные характеристики, ед. изм.	Полученные значения
Модуль среднего вектора скорости, м/с	5.429550319010467
Средняя скорость горизонтального ветра, м/с	5.119561830209039
Угол наклона к горизонту ср.вектора скорости ветра, град.	0.33954245432398267
Направление средней скорости горизонтального ветра, град.	5.873080694427359
Давление насыщенного пара, гПа	6.108121458754113
Ср.значения в атмосфере для упругости (давления) водяного пара, гПа	5.833785363636603
Дефицит влажности, гПа	0.27433609511750967
Абсолютная влажность воздуха, г/м <sup>3</sup>	0.009027791585790208
Плотность воздуха, г/м <sup>3</sup>	0.00945232069814538
Пульсация температуры, G	5.921189464667501e-17
Пульсация вертикальных компонентов скорости ветра, G	-9.25185853854297e-18
Пульсация продольного компонента скорости ветра, G	3.3676765080296414e-16
Пульсация поперечного компонента скорости ветра, G	4.0939474033052647e-16
Момент потока тепла, МДж/м <sup>2</sup>	-0.0061080555555555706
Момент потока импульса, МДж/м <sup>2</sup>	0.1581173963230276

Полная энергия турбулентных движений, Дж	0.811382514124294
Относительная интенсивность флуктуаций скорости ветра	0.0275231362077801
Вертикальный поток импульса	-0.00149457633800101
Вертикальный поток тепла	-5.77352999531998e-05
Скорость трения(масштаб ветра)	0.1581173963230276
Масштаб температуры	0.0009657898410408507
Масштаб Монина-Обухова	0.006372099284761624
Коэффициент сопротивления потоку	0.0008480697722346397
Структурная постоянная температурных флуктуаций	0.00014918308276540404
Структурная постоянная ветровых флуктуаций	0.3147145384977598
Структурная постоянная флуктуация акустического показателя преломления	2.872633881196823e-06
Структурная постоянная флуктуация оптического показателя преломления	1.1521170406528187e-12
Локальный градиент скорости ветра	875.1946717794284
Локальный градиент потенциальной температуры	5.345109913758294
Локальный градиент температуры	5.3353099137582936
Коэффициент турбулентного обмена количества движения	2.8566342810499084e-05
Коэффициент турбулентного обмена тепла	2.8569697821842676e-05
Внешний масштаб турбулентности	0.0001806654009919261
Скорость диссипации энергии ветровых флуктуаций	-0.0013659791312235791
Скорость диссипации энергии ветровых флуктуаций	0.00015270817506061
Градиентное число Ричардсона	-0.014941189529847453

Функционал программы позволяет визуализировать по полученным значениям графики, отобразим Масштаб Монина-Обухова.

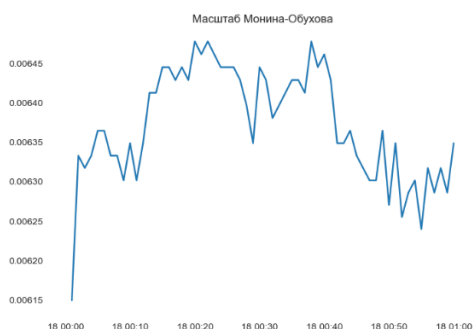


Рис. 15 – Визуализация полученных значений за час.

Дальше сделаем тоже самое для каждого часа за сутки и запишем в таблицу 4 (приложении А к работе).

По полученным данным в общей таблице можно понаблюдать за параметрами в разные временные отрезки. Выделяются с большим разбросом такие параметры как пульсация температуры, пульсация вертикальных компонентов скорости ветра, пульсация продольного компонента скорости ветра, пульсация поперечного компонента скорости ветра, коэффициент сопротивления потоку, структурная постоянная флуктуация акустического показателя преломления, локальный градиент скорости ветра, локальный градиент температуры.

А также визуализировать полученные данные и составить из них общую картину, масштаб Монина-Обухова на рисунке 16.

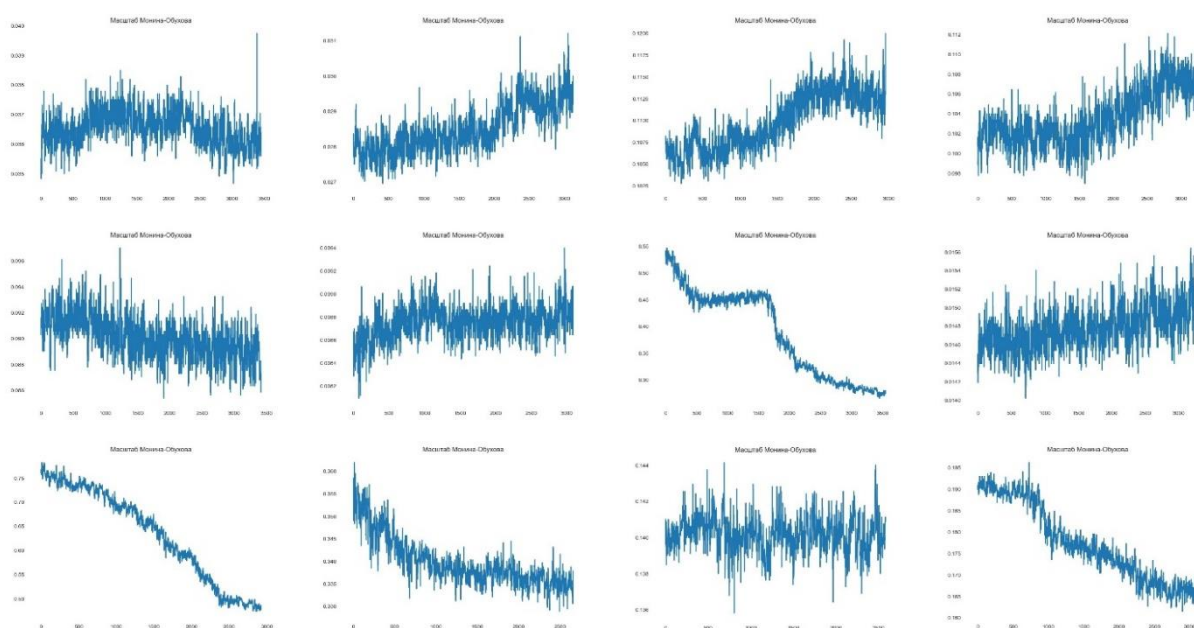


Рис.16 – Графики полученных значений.

Проведем исследование сравнительного анализа характеристик турбулентности в разные годы, но за одинаковые периоды.

Возьмем период 18.01.2010 с 12:00 до 13:00 и усреднением в 1 с и вычислим характеристики планируется за 10 лет с 2010 по 2020. Но как выяснилось опытным путем на сервере, к сожалению, нет данных за 2011, 2015, 2019.

Получилось загрузить данные за 2010, 2012, 2013, 2014, 2016, 2017, 2018, 2020 г. и внести их в таблицу 5 в приложении А к работе.

Визуализируем масштаб Монина-Обухова за полученные года с одинаковым периодом на рисунке 17.

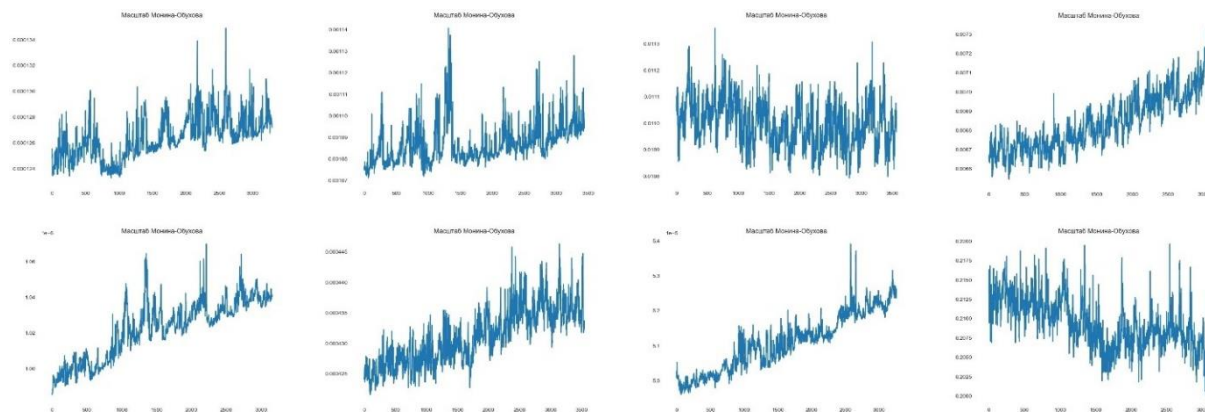


Рис. 17 – Масштаб Монина-Обухова

Визуализируем пульсацию температур за полученные года с одинаковым периодом на рисунке 18.

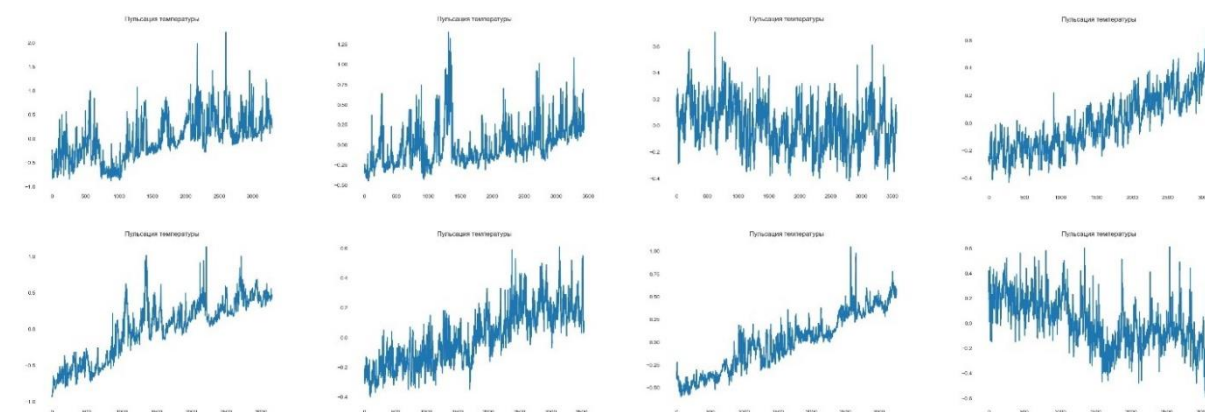


Рис. 18 – Пульсация температур

По таблице 5 в приложении А можно сравнить различные вычисленные параметры турбулентности.

## **ГЛАВА 5 Социальная ответственность**

### **5.1 Аннотация**

В данной работе разрабатывается программное обеспечение для вычисления характеристик турбулентности в приземном слое атмосферы. Разработка решения проводилась при помощи компьютера. Областью применения работы являются метеорологические центры или независимые специалисты, для наблюдения и мониторинга за состоянием турбулентности в приземном слое, полученные результаты в ходе вычислений также являются входными данными с для дальнейшего расчета турбулентности в пограничном слое атмосферы. Разработка программного обеспечения велась в квартире г.Якутска. Комната оснащена всем необходимыми условиями для выполнения работы, оснащена необходимой мебелью (компьютерный стол, стульями), кондиционером.

Взаимодействие с представленными программами будет производиться с помощью программных и аппаратных ПЭВМ, включающих в себя периферийные устройства, подключенные к ПЭВМ.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

#### **5.1.1 Описание правовых норм для работ, связанные с работой на ПЭВМ.**

Регулирование отношений между работником и работодателем, касающихся оплаты труда, трудового распорядка, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и прочие, осуществляется законодательством РФ, а именно трудовым кодексом РФ.

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Порядок исчисления нормы рабочего времени на определенные календарные периоды (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю определяется федеральным

органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда.

Продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать:

Для работников в возрасте от 15 до 16 лет – 5 часов, в возрасте от 16 до 18 лет – 7 часов;

Для учащихся общеобразовательных учреждений, образовательных учреждений начального и среднего профессионального образования, совмещающих в течение учебного года учебу с работой, в возрасте от 14 до 16 лет – 95 2,5 часа, в возрасте от 16 до 18 лет – 4 часов;

Для инвалидов – в соответствии с медицинским заключением, выданным в порядке, установленном федеральными законами и иными нормативными правовыми актами российской федерации.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать:

При 36-часовой рабочей неделе - 8 часов;

При 30-часовой рабочей неделе и менее - 6 часов.

Продолжительность работы (смены) в ночное время сокращается на один час без последующей отработки. К работе в ночное время не допускаются: беременные женщины; работники, не достигшие возраста 18 лет, за исключением лиц, участвующих в создании и (или) исполнении художественных произведений, и других категорий работников в соответствии с настоящим Кодексом и иными федеральными законами.

В течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания. Время предоставления перерыва и его конкретная продолжительность устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка или по соглашению между работником и работодателем.

Всем работникам предоставляются выходные дни (еженедельный непрерывный отдых).

Организация-работодатель выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы только в случаях, установленных ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней, работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Законодательством РФ запрещена дискриминация по любым признаками принудительный труд.

Если пользователь постоянно загружен работой с ЭВМ, приемлемой является поза сидя. В положении сидя основная нагрузка падает на мышцы, 96 поддерживающие позвоночный столб и голову. В связи с этим при длительном сидении время от времени необходимо сменять фиксированные рабочие позы.

Исходя из общих принципов организации рабочего места, в нормативно-методических документах сформулированы требования к конструкции рабочего места.

Основными элементами рабочего места программиста являются:

Рабочий стол, рабочий стул (кресло), дисплей, клавиатура, мышь; вспомогательными - пюпитр, подставка для ног.

Взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования.

Рабочие места с ЭВМ должны располагаться на расстоянии не менее 1,5 м от стены с оконными проемами, от других стен – на расстоянии 1 м, между собой – на расстоянии не менее 1,5 м. При размещении рабочих мест необходимо исключить возможность прямой засветки экрана источником естественного освещения.

При размещении ЭВМ на рабочем месте должно обеспечиваться пространство для пользователя величиной не менее 850 мм. Для стоп должно быть предусмотрено пространство по глубине и высоте не менее 150 мм, по



ширине – не менее 530 мм. Располагать ЭВМ на рабочем месте необходимо так, чтобы поверхность экрана находилась на расстоянии 400 – 700 мм от глаз пользователя. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Рабочее кресло обеспечивает поддержание рабочей позы, в положении сидя, и чем длительнее это положение в течение рабочего дня, тем жестче должны быть требования к созданию удобных и правильных рабочих сидений. Высота поверхности сиденья должна регулироваться в пределах 400 – 550 мм. 97 Ширина и глубина его поверхности должна быть не менее 400 мм. Поверхность сиденья должна быть плоской, передний край – закругленным. Сиденье и спинка кресла должны быть полумягкими, с нескользящим, не электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, материал которого обеспечивает возможность легкой очистки от загрязнения. Опорная поверхность спинки стула должна иметь высоту 280 – 320 мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм. Расстояние сцинки от переднего края сиденья должно регулироваться в пределах 260 – 400 мм. Рабочее место должно быть оборудовано устойчивой и просто регулируемой подставкой для ног, располагающейся, по возможности, по всей ширине отводимого участка для ног. Подставка должна иметь ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20. Поверхность подставки должна быть рифленой, по переднему краю иметь бортик высотой 10 мм. При организации рабочего пространства необходимо учитывать индивидуальные антропометрические параметры пользователя с соответствующими допусками на возможные изменения рабочих поз и потребность в перемещениях. Рациональной рабочей позой может считаться такое расположение тела, при котором ступни работника расположены на плоскости пола или на подставке для ног, бедра сориентированы в

горизонтальной плоскости, верхние части рук – вертикальный угол локтевого сустава колеблется в пределах 70 – 90, запястья согнуты под углом не более чем 20, наклон головы – в пределах 15 – 20, а также исключены частые ее повороты.

## **5.2 Производственная безопасность на стадии разработки программного обеспечения.**

Данный раздел посвящен анализу вредных и опасных факторов производственной среды для операторов ПЭВМ.

Для обеспечения производственной безопасности необходимо проанализировать воздействие на человека вредных и опасных производственных факторов, которые могут возникать при разработке или эксплуатации проекта. Производственный фактор считается вредным, если воздействие этого фактора на работника может привести к его заболеванию. Производственный фактор считается опасным, если его воздействие на работника может привести к его травме.

Все производственные факторы классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические и психофизические. Для данной работы целесообразно рассмотреть физические и психофизические вредные и опасные факторы производства, характерные как для рабочей зоны программиста, как разработчика рассматриваемой в данной работе системы, так и для рабочей зоны пользователя готового продукта – оператора ПЭВМ. Выявленные факторы представлены в таблице 1.

Таблица 4 – Вредные и опасные производственные факторы.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы(по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работка за ПЭВМ	1) Микроклимат 2) Повышенный уровень электромагнитных излучений	1) Опасность поражения электрическим током	1) СанПиН 2.2.4.548-96; 2) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; 3) СанПиН 2.2.4.3359-16

	3) Недостаточная освещенность рабочей зоны 4) Монотонный режим работы 5) Шум		4) ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ; 5) СНиП 21-01-97. 6) ГОСТ 2239-79. 7) СНиП 23-05-95
--	--	--	--

## 5.2.1 Вредные производственные факторы

### 5.2.1.1 Недостаточная освещённость

Для расчета равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отраженный от потолка и стен.

Произведем расчет светового потока лампы:

Рабочая зона имеет размеры: длина  $A = 5$  м, ширина  $B = 4$  м, высота  $H = 3$  м. Высота рабочей поверхности является  $h_{rp} = 0,8$  м.

Коэффициенты отражения оцениваются субъективно, для расчета отражающей поверхности обратимся к таблице 2.

Таблица 5 – Коэффициенты отражения [8]

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения, %
Плоскость с белой поверхностью ( побеленный потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами)	70
Плоскость со светлой поверхностью (побеленные стены при незанавешенных окнах, побеленный потолок в сырых помещениях, чистый бетонный и светлый деревянный потолок)	50
Плоскость с серой поверхностью(бетонный потолок в грязных помещениях, деревянный потолок, бетонные стены с окнами, стены оклеенные светлыми обоями)	30
Плоскость с темной поверхностью (стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли, сплошное остекление без штор, красный неоштукатуренный кирпич, стены с темными обоями)	10

Отражающая поверхность, потолок – белый, стены – со светлыми обоями (зеленый свет). Тогда индексы отражения получаем: для потолка – 50 %, для стен – 30%.

Возьмём за норму – освещённость рабочего места (Е) в 300 люксов.

Коэффициент запаса (поправка на запылённость) для нашего примера равен 1,2 (Кз)(Жилые помещения). Коэффициент неравномерности  $Z = 1,15$ (для ламп накаливания).

Рассчитываем систему общего освещения.

Приняв  $h_c = 0,2$  м, получаем

$$h = 3 - 0,2 - 0,8 = 2 \text{ м};$$

$$L = 1,4 \cdot 2 = 2,8 \text{ м};$$

$$L/3 = 0,9 \text{ м}$$

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина:  $\lambda = L/h = 1,4$  м.

Возьмем светильник 6-конечный (мощностью 40 ватт, 1 лампа даёт световой поток, равный 415 лк), установим два светильника, следовательно, число ламп будет равно 12.

Находим индекс помещения по следующей формуле:

$$I_n = S/h \cdot (A+B) = 5 \cdot 4/2 \cdot (5+4) = 0,5$$

Полученный индекс помещения сравним с таблицей 3.

Таблица 6 – Коэффициенты использования светового потока светильников с лампами накаливания [8].

Тип светильника	У			ШМ			ЛЦ			ГС		
рп, %	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70

ρс, %	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
i												
0,5	21	24	28	8	9	12	14	16	20	19	21	25
0,6	27	30	34	10	12	16	19	21	25	24	27	31
0,7	32	35	38	12	14	18	23	24	29	29	31	34
0,8	35	38	41	14	16	20	25	26	31	32	33	37
0,9	38	40	44	16	17	21	27	29	33	34	36	39
1,0	40	42	45	17	19	22	29	31	34	36	38	40
1,1	42	44	46	17	19	23	30	32	36	37	39	41
1,25	44	46	48	19	21	24	31	34	38	39	41	43
1,5	46	48	51	21	23	27	34	37	41	41	43	46
1,75	48	50	53	22	25	29	36	39	43	43	44	48
2,0	50	52	55	24	27	30	38	41	45	44	46	49
2,25	55	57	60	25	28	31	44	47	51	47	47	50
2,5	54	55	59	27	29	33	41	45	48	48	49	52
3,0	55	57	60	28	31	35	44	47	51	49	51	53
3,5	56	58	61	30	33	37	45	49	52	50	52	54
4,0	57	59	62	31	35	38	46	50	54	51	53	55
5,0	58	60	63	32	37	40	48	52	56	52	54	57

Исходя из таблицы коэффициент использования светового потока

$$\eta = 0,24 \%$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi_{\text{л.расч}} = (300 \cdot 20 \cdot 1,2 \cdot 1,15) / 12 \cdot 0,24 = 8280 / 2,88 = 2875 \text{ Лм}$$

По таблице 4 определяем потребный световой поток ламп в каждом из светильников.

Таблица 7 - Основные характеристики ламп накаливания [8]

Тип лампы	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм
B215-225-15-1	15	120

B215-225-25	25	220
B215-225-40-1	40	430
B215-225-60-1	60	730
B215-225-75-1	75	960
B215-225-100-1	100	1380
B215-225-150	150	2220
B215-225-200	200	3150
Г215-225-300-2	300	4850
Г215-225-500-1	500	8400
Г215-225-750	750	13100
Г215-225-1000-2	10000	18800

По таблице 4 выбираем ближайшую стандартную лампу – B215-225-200 200 ВТ с потоком получаем  $\Phi_{\text{л.станд}} = 3150$  лм.

Сделаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq (\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}) / \Phi_{\text{л.станд}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$-10\% \leq (3150 - 2875) / 3150 \cdot 100\% \leq 20\%$$

Вычисляем по формуле и получаем значение равное 8,73 %

$$-10\% \leq 8,73\% \leq 20\%$$

Полученное значение соответствует нормам освещенности рабочего места.

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 12 \cdot 200 = 2400 \text{ Вт}$$

### **5.2.1.2 Монотонный режим работы**

При работе с ПЭВМ основным фактором, влияющим на нервную систему программиста или пользователя, является огромное количество информации, которое он должен воспринимать. Это является сложной задачей, которая очень сильно влияет на сознание и психофизическое состояние из-за монотонности работы. Поэтому меры, позволяющие снизить воздействие этого вредного производственного фактора, которые регулируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, являются важными в работе

оператора ПЭВМ. Они позволяют увеличить производительность труда и предотвратить появление профессиональных болезней. Организация работы с ПЭВМ осуществляется в зависимости от вида и категории трудовой деятельности. Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы: группа А – работа по считыванию информации с экрана с предварительным запросом; группа Б – работа по вводу информации; группа В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. Работа программиста-разработчика рассматриваемой в данной работе относится к группам А и Б, в то время, как деятельность пользователя приложения относится к группе В. Категории трудовой деятельности, различаются по степени тяжести выполняемых работ. Для снижения воздействия рассматриваемого вредного фактора предусмотрены регламентированные перерывы для каждой группы работ – таблица 5.

Таблица 8 – Регламентированное время перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида категорий трудовой деятельности.

Категории работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин.	
	Группа А количество знаков	Группа Б количество знаков	Группа В, ч.	При 8- часовой смене	При 12- часовой смене
I	До 20000	До 15000	До 2	50	80
II	До 40000	До 30000	До 4	70	110
III	До 60000	До 40000	До 6	90	140

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПЭВМ рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него. В случаях, когда характер работы требует постоянного взаимодействия с компьютером (работа программиста-разработчика) с напряжением внимания и сосредоточенности, при исключении возможности периодического переключения на другие виды

трудовой деятельности, не связанные с ПЭВМ, рекомендуется организация перерывов на 10–15 мин. через каждые 45–60 мин. работы. При высоком уровне напряженности работы рекомендуется психологическая разгрузка в специально оборудованных помещениях.

### **5.2.1.3 Превышение уровня шума**

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 установлены допустимые значения уровней звукового давления, создаваемого ПЭВМ (таблица 6).

Таблица 9. Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, дБ									
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	Уровни звука в дБА
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

## **5.3.1 Опасные производственные факторы**

### **5.3.1.1 Опасность возникновения пожара**

Возникновение пожара является опасным производственным фактором, т.к. пожар на предприятии наносит большой материальный ущерб, а также часто сопровождается травмами и несчастными случаями. Регулирование пожаробезопасности производится СНиП 21-01-97. В помещениях с ПЭВМ повышен риск возникновения пожара из-за присутствия множества факторов: наличие большого количества электронных схем, устройств электропитания, устройств кондиционирования воздуха; возможные неисправности



электрооборудования, освещения, или неправильная их эксплуатация может послужить причиной пожара

Возможные виды источников воспламенения:

- Искра при разряде статического электричества;
- Искры от электрооборудования;
- Искры от удара и трения;
- Открытое пламя.

Для профилактики организации действий при пожаре должен проводиться следующий комплекс организационных мер: должны обеспечиваться регулярные проверки пожарной сигнализации, первичных средств пожаротушения; должен проводиться инструктаж и тренировки по действиям в случае пожара; не должны загромождаться или блокироваться пожарные выходы; должны выполняться правила техники безопасности и технической эксплуатации электроустановок; во всех служебных помещениях должны быть установлены «Планы эвакуации людей при пожаре и других ЧС», регламентирующие действия персонала при возникновении пожара.

Для предотвращения пожара помещение с ПЭВМ должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения: углекислотными огнетушителями типа ОУ-2 или ОУ-5; пожарной сигнализацией, а также, в 80 некоторых случаях, автоматической установкой объемного газового пожаротушения.

#### **5.3.1.2 Опасность поражения электрическим током.**

Поражение электрическим током является опасным производственным фактором и, поскольку программист имеет дело с электрооборудованием, то вопросам электробезопасности на его рабочем месте должно уделяться особое внимание. Нормы электробезопасности на рабочем месте регламентируются 78 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, вопросы требований к защите от поражения электрическим током освещены в ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия

электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно. Помещение, где расположено рабочее место оператора ПЭВМ, относится к помещениям без повышенной опасности ввиду отсутствия следующих факторов: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы, высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и металлическим корпусам электрооборудования. Основным организационным мероприятием по обеспечению безопасности является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе. К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током относятся:

- С целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов должны быть заземлены;
- При включенном сетевом напряжении работы на задней панели корпуса приборов должны быть запрещены;
- Все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал;
- Необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки

## **5.4 Экологическая безопасность**

### **5.4.1 Влияние объекта исследования на окружающую среду**

В данном разделе рассматривается воздействие на окружающую среду деятельности по разработке проекта, а также самого продукта в результате его реализации на производстве.

В ходе выполнения магистерской диссертации и дальнейшем использовании алгоритмов отсутствуют выбросы каких-либо вредных

веществ в атмосферу и гидросферу, следовательно, загрязнение воздуха и воды не происходит.

Лампы накаливания не содержат ртуть, относятся к 5 категории опасности.

Во время разработки и написания магистерской диссертации образовывался мусор, такой как: канцелярские принадлежности, бумажные отходы, лампы накаливания, комплектующие компьютера.

#### **5.4.2 Мероприятия по защите окружающей среды**

Для уменьшения вредного влияния на литосферу необходимо производить сортировку отходов и обращаться в службы по утилизации для дальнейшей переработки или захоронения.

Переработка макулатуры представляет собой многоэтапный процесс, цель которого заключается в восстановлении бумажного волокна и, зачастую, других компонентов бумаги (таких как минеральные наполнители) и использование их в качестве сырья для производства новой бумаги.

Организации, занимающиеся покупкой сломанных компьютеров на запчасти, готовы платить за запчасти деньги, которые они сэкономят на покупке новых деталей, необходимых для ремонта. Такие организации принимают даже битую и залитую чем-то технику. Компьютерная техника (или ее компоненты) может также заинтересовать тех, кто скупает старые платы и радиодетали для получения из них после переработки драгоценных и редких металлов. Многие сетевые гипермаркеты электронной техники периодически устраивают программу утилизации. Условия такие: за старую бытовую технику вам предложат неплохую скидку на последующую покупку в этом магазине. Также можно самостоятельно отвезти сломанный компьютер в пункт приема металлолома не составит труда. Такие точки приема есть в каждом городе.

## **5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при разработке алгоритма является пожар на рабочем месте. В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры:

1. В помещении должны находиться средства тушения пожара, средства связи;
2. Электрическая проводка электрооборудования и осветительных приборов должна быть исправна;
3. Все сотрудники должны знать место нахождения средств пожаротушения и уметь ими воспользоваться, средств связи и номера экстренных служб.

Связи с возможностью возникновения пожара разработан следующий план действий:

1. В случае возникновения пожара сообщить о нем руководителю, постараться устранить очаг возгорания имеющимися силами при помощи первичных средств пожаротушения (огнетушитель порошковый, углекислотный О-1П0 (з)-ABCE);
2. Привести в действие ручной пожарный извещатель, если очаг возгорания потушить не удастся;
3. Сообщить о возгорании в службу пожарной охраны по телефону 01 или 101, сообщить адрес, место и причину возникновения пожара;
4. Принять меры по эвакуации людей и материальных ценностей;
5. Встретить пожарную охрану, при необходимости сообщить всю необходимую информацию и оказать помощь при выборе наилучшего подхода к очагу возгорания.

6. Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация и средства связи.

### **5.6 Заключение по разделу**

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться человек, разрабатывающий программу для вычисления характеристик турбулентности в приземном слое атмосферы, а также проведен анализ нормативной документации.

Освещение на рабочем месте не удовлетворяет требованиям, были проведены расчеты необходимого освещения.

Уровни шума находятся в допустимых пределах – источником шума при эксплуатации ПК являются системы охлаждения. В виду того, что корпус ПК является токонепроводящим, необходимость в мерах против статического электричества отсутствует. Во время работы осуществляются перерывы для снижения нагрузки и предотвращения нервно-психических перегрузок. Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности.

Рабочее место так же соответствует всем требованиям противопожарной безопасности.

## ГЛАВА 6. Финансовый менеджмент

### 6.1 Организация и планирование работ

Для организации и систематизации работы выпускника был сформирован план работ. Данный этап обеспечил своевременное и эффективное выполнение задания выпускной квалификационной работы. Для осуществления разработки, был сформирован ряд работ и назначены исполнители для каждого этапа работы(таблица 1).

Таблица 10. – Перечень работ по проекту

Основные этапы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материала по ТЗ	И	И – 100%
Календарное планирование работ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка обобщенного алгоритма программы	И	И – 100%
Разработка динамической загрузки	И	И - 100%
Разработка вычислений параметров турбулентности	И	И – 100%
Разработка интерфейса программы и тестирование, получение результатов	И	И – 100%
Технико-экономические расчеты	И	И – 100%

Социальная ответственность	И	И – 100%
Составление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 40% И – 100%

## 6.2 Определение трудоемкости работ

Для того чтобы определить трудоемкость работ, используются следующие показатели:

- Ожидаемое значение трудоемкости,
- Продолжительность каждой работы,
- Продолжительность выполнения *i*-ой работы в календарных днях,
- Коэффициент календарности.

Расчет ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{ож}$  осуществляется согласно формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} \quad (1)$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{prob}$  – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Далее определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{рд}$ , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_d \quad (2)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей  $K_{вн} = 1$ ;

$K_d$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_d = 1-1,2$ ; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}} \quad (3)$$

где  $T_{\text{КД}}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}} \quad (4)$$

где  $T_{\text{КАЛ}}$  – календарные дни ( $T_{\text{КАЛ}} = 366$ );

$T_{\text{ВД}}$  – выходные дни ( $T_{\text{ВД}} = 52$ );

$T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{ПД}} = 12$ ).

Следовательно,  $T_{\text{К}} = 1,21$ .

Расчеты по трудоемкости выполнения работ представлены в таблице 2.

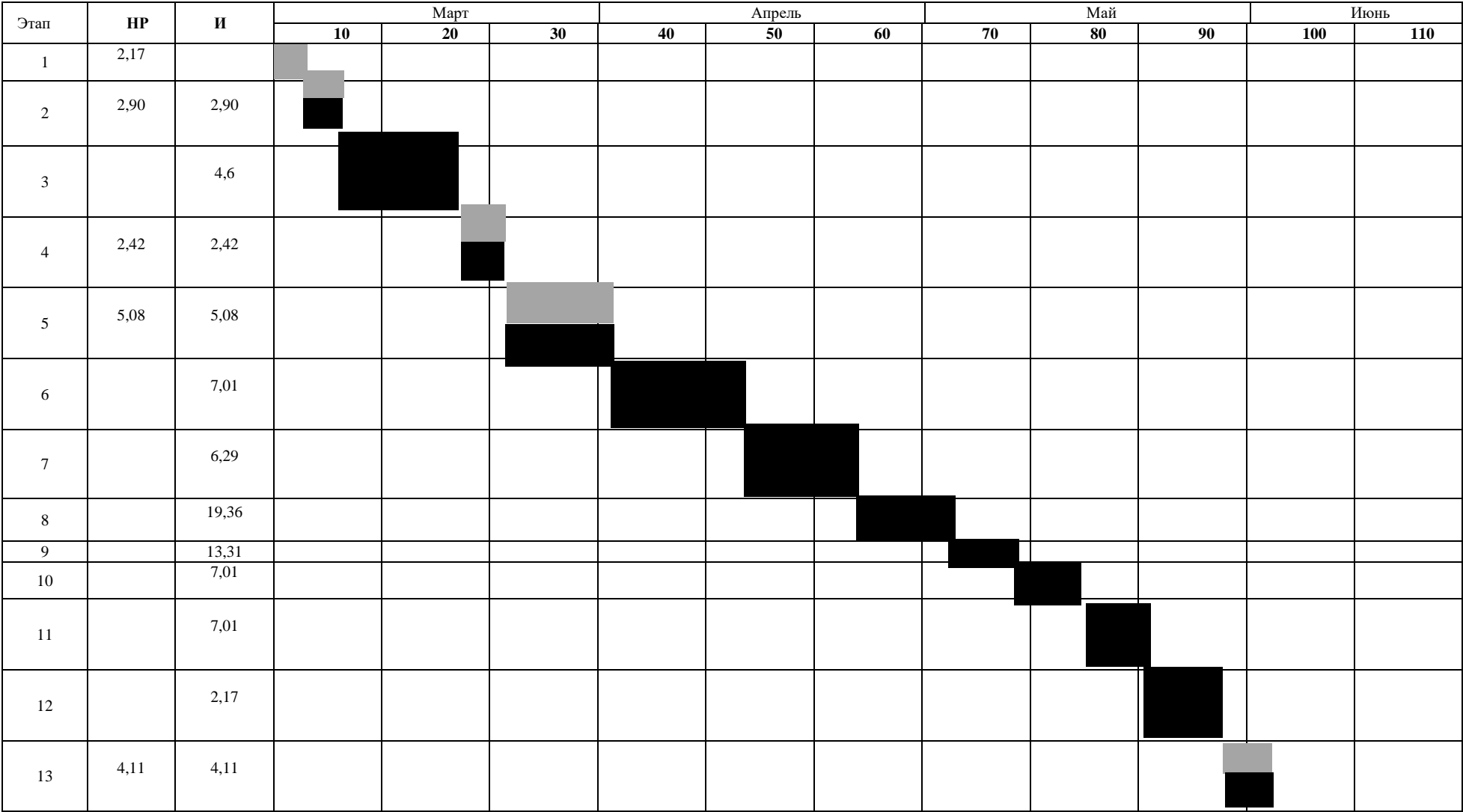
Диаграмма Ганта, построенная по рассчитанным показателям, представлена в таблице 3.



Таблица 11. - Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					Трд		Ткд	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	1	3	1,8	1,8		2,17	
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,4	2,4	2,4	2,90	2,90
Подбор и изучение материалов по тематике	И	3	7	4,6		4,6		4,6
Разработка календарного плана	НР, И	2	2	2	2	2	2,42	2,42
Обсуждение литературы	НР, И	3	6	4,2	4,2	4,2	5,08	5,08
Разработка обобщенного алгоритма программы	И	3	10	5,8		5,8		7,01
Разработка динамической загрузки	И	4	7	5,2		5,2		6,29
Разработка вычислений параметров турбулентности	И	15	25	16		16		19,36
Разработка интерфейса программы и тестирование, получение результатов	И	9	14	11		11		13,31
Технико-экономические расчеты	И	5	7	5,8		5,8		7,01
Социальная ответственность	И	5	7	5,8		5,8		7,01
Составление пояснительной записки	И	1	3	1,8		1,8		2,17
Подведение итогов	НР, И	3	4	3,4	3,4	3,4	4,11	4,11
<b>Итого:</b>				<b>69,8</b>	<b>13,8</b>	<b>68</b>	<b>16,68</b>	<b>81,27</b>

Таблица 12. - Линейный график работ



НР –  ;    И – 

### 6.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

#### 6.3.1 Расчет затрат на материалы

В данной статье мы рассчитываем затраты на материалы, которые были затрачены непосредственно в процессе выполнения проекта(таблица 4).

Таблица 13 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага офисная (пачка)	300	1	300
Ручка	30	1	30
Папка	50	1	50
Итого:	380 руб.		

$$C_{\text{мат}} = 380 * 1,05 = 399 \text{ руб.}$$

#### 6.3.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает основную заработную плату с учетом премий и доплат для исполнителей проекта: студента и научного руководителя.

Месячный оклад руководителя ТПУ с должностью доцента и степенью кандидата наук составляет 33664 рубля (без учета районного коэффициента, но с учетом премиальных и надбавок), для студента был взят оклад ассистента без научной степени – 21760 рублей.

Рассчитаем среднедневную ставку по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-г}} = \text{МО} / 25,083$$

Рассчитаем затраты на заработную плату(таблица 5). Возьмем 6 дневную рабочую неделю

Таблица 14 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33664	1342,10	14	1,699	<b>31923,19</b>
И	21760	867,51	68	1,699	<b>100225,16</b>
<b>Итого:</b>					<b>132148,35</b>

### 6.3.3 Расчет затрат на социальный налог

Рассчитаем затраты на социальный налог(ЕСН), включающий в себя отчисление в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование в размере 30% от полной заработной платы по проекту. В нашем случае это 131704,19 руб. вычислим  $C_{соц} = 132148,35 * 0,3 = \mathbf{39644,50}$  руб.

### 6.3.4 Расчет затрат на электроэнергию

Рассчитаем расход электроэнергии, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования. По следующей формуле:  $C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э}$ , где  $Ц_{э} = 6,59$  руб./кВт·час (с НДС).

Для начала нам необходимо рассчитать мощность потребляемую оборудованием:

$$P_{об} = 0,045 \text{ кВт.}$$

Рассчитаем время работы оборудования:

$$t_{об} = 544 \text{ ч.}$$

Рассчитаем затраченную электроэнергию на выполнение проекта, результаты укажем в (таблице 6).

Таблица 15 - Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$ , час	Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт	Затраты $Э_{об}$ , руб.
Персональный компьютер	544 ч.	0,045 кВт	161,32
<b>Итого:</b>			<b>161,32</b>

### 6.3.5 Расчет амортизационных расходов.

В данную статью затрат входят суммы, необходимые на обеспечение амортизации используемого оборудования. Расчет амортизации персонального компьютера, используемого при написании работы: первоначальная стоимость персонального компьютера составляет 26000 рублей; срок полезного использования для офисных машин – 3 года;

Тогда:

- Норма амортизации:  $N_A = 0,3$

- Стоимость компьютера: 26000 руб.
- Фактическое время:  $t_{pf} = 544$  ч.
- Годовой фонд времени работы оборудования:  $F_d = 2384$  часа;

Рассчитаем амортизацию ПК для нашего проекта:

$$C_{AM} = \frac{H_A * C_{OB} * t_{pf} * n}{F_d}, \text{ где } C_{AM} = \frac{(0,3 * 26000 * 544 * 1)}{2384} = 1779,86 \text{ руб.}$$

### **6.3.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных).**

В расчеты расходов относятся: командировочные расходы, арендная плата за имущество, оплата услуг связи, услуги сторонних организаций.

За норму оплаты суточных возьмем – 100 руб/день, оплата общежития – 50 руб/день, билет на поезд туда и обратно – 4720 руб, услуги связи – 240 руб, консалтинговые услуги – 1500 руб. В командировке время пребывания 42 дня, в дороге пробыли 4 дня(туда и обратно), в общежитие жили 38 дней. Тогда:

$$C_{np} = (42 - 1) * 100 + 1900 + 4720 + 240 + 1500 = 12220 \text{ руб.}$$

### **6.3.7 Расчет прочих расходов**

В статье отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их принимаем за 10% от суммы всех расходов.

$$C_{проч.} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам} + C_{нп}) \cdot 0,1$$

$$\text{Тогда: } C_{проч} = (399 + 132145,35 + 39644,50 + 161,32 + 1779,86 + 12220) * 0,1 = 18635 \text{ руб.}$$

### **6.3.8 Расчет общей себестоимости разработки**

Составим сметы исходя из расчетов всех статей для определения общей стоимости проекта(таблица 7).

Таблица 16 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	399
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	132148,35
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	39644,50
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	161,32
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	1779,86
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	12220
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	18635
<b>Итого:</b>		<b>204988,03</b>

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 204988,03$  руб.

### 6.3.9 Расчет прибыли

Рассчитаем прибыль от реализации проекта, прибыль принимаем в размере 5/20% от полной себестоимости проекта.

Так как у нас по проекту итоговый расход 204988,03 руб. Тогда, получается, что прибыль составит у нас 40997,60 руб.

### 6.3.10 Расчет НДС

В этой статье подсчитываем НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это  $(204988,03 + 40997,60) * 0,2 = 49197,12$  руб.

### 6.3.11 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 204988,03 + 40997,60 + 49197,12 = 295182,75 \text{ руб.}$$

## 6.4 Оценка экономической эффективности проекта

По описанным критериям, разобранным в данном разделе, можно сформировать итоговый результат эффективности проекта. Потенциальными потребителями данной работы являются компании, которые занимаются исследованиями и мониторингом в области метеорологии. Однако это не исключает коммерциализацию проекта методом инжиниринга, путем предоставления услуг по консультации, проектированию и разработке аналогичных систем для других организаций на договорной основе. Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$Ipi = \sum a_i b_i$ , где  $Ipi$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Результат расчета интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 8.

Таблица 17 – Интегральные показатели ресурсоэффективности

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	Баллы			
		Б <sub>Р</sub>	Б <sub>FR</sub>	Б <sub>ED</sub>	Б <sub>PO</sub>
1. Удобство использования	0,05	2	5	5	3
2. Независимость от сетевого подключения	0,2	5	5	0	0
3. Работа напрямую с серверов для получения актуальных данных	0,05	1	3	4	0
4. Потребность в вычислительных ресурсах	0,05	5	5	5	0
5. Сохранение и импорт данных	0,1	1	2	2	5

6. Визуализация графиков	0,3	5	0	0	0
7. Точность классификации	0,2	3	4	4	5
8. Вывод результатов в отдельных диалоговых окнах	0,05	3	1	1	0
ИТОГО	1	25	25	25	25
Значение интегрального показателя	-	3,75	2,7	1,75	1,65

$$I_{p-\text{разработки}} = 2 * 0,05 + 5 * 0,2 + 1 * 0,05 + 5 * 0,05 + 1 * 0,1 + 5 * 0,3 + 3 * 0,2 + 3 * 0,05 = 3,75$$

$$I_{p-\text{FR}} = 5 * 0,05 + 5 * 0,2 + 3 * 0,05 + 5 * 0,05 + 2 * 0,1 + 0 * 0,3 + 4 * 0,2 + 1 * 0,05 = 2,7$$

$$I_{p-\text{ED}} = 5 * 0,05 + 0 * 0,2 + 4 * 0,05 + 5 * 0,05 + 2 * 0,1 + 0 * 0,3 + 4 * 0,2 + 1 * 0,05 = 1,75$$

$$I_{p-\text{PD}} = 3 * 0,05 + 0 * 0,2 + 0 * 0,05 + 0 * 0,05 + 5 * 0,1 + 0 * 0,3 + 5 * 0,2 + 0 * 0,05 = 1,6$$

В качестве аналога была взята разработка Метео 4.0. Из значений интегрального показателя ресурсоэффективности разработанной программы и ее существующего аналога можно сделать вывод о ее высокой конкурентоспособности.

### 6.5 Заключение по разделу.

В ходе осуществления оценки конкурентоспособности разработки было установлено, что разработанная программа обладает большим уровнем конкурентоспособности, чем существующий аналог и имеет большое количество возможностей для совершенствования и повышения конкурентоспособности.

Общий бюджет был оценен в 204988,03 рублей. Разработанная программа может использоваться для наблюдения и мониторинга в метеоцентрах, а также для независимых специалистов. При этом разработанная программа значительно упростит и ускорит процесс сбора данных, уменьшит необходимость в человеческом наблюдении за интересующими явлениями.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В магистерской диссертации был разработан исследовательский инструмент для расчета параметров атмосферной турбулентности. В работе представляется математическая и программная разработка для экспериментальных исследований маломасштабной турбулентной структуры приземного слоя атмосферы. Программное обеспечение позволяет уточнить и детализировать атмосферные процессы, степень изменчивости, выявить признаки изменения погоды и предпосылки возникновения опасностей по данным, полученным с помощью ультразвукового термометра в метеостанции АМК-03. Также были проведены исследования изменения характеристик турбулентности приземного слоя атмосферы в различных временных масштабах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единое окно [Электронный ресурс] URL: <http://window.edu.ru/resource/878/71878/files/ulstu2010-145.pdf>
2. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс] URL: <https://bigenc.ru/geography/text/2208749>
3. Enviromis [Электронный ресурс] URL: [http://www.scert.ru/enviromis/2016/presentation/Presentation/Conference/Session\\_6/Short\\_reports/6-Rokhmistrov.pdf](http://www.scert.ru/enviromis/2016/presentation/Presentation/Conference/Session_6/Short_reports/6-Rokhmistrov.pdf)
4. Хромов С.П., Метеорология и климатология / С.П. Хромов, М.А. Петросянц // учебник. - 7-е изд.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006. - 582 с.: илл.-(Классический университетский учебник). - ISBN 5-211-05207-ISBN5-02-035762-6 (в пер.).
5. BUDEINTERESNO [Электронный ресурс] URL: [http://budetinteresno.info/pogoda-i-ee-predskazanie\\_ckorost-i-napravlenie-vetra.htm](http://budetinteresno.info/pogoda-i-ee-predskazanie_ckorost-i-napravlenie-vetra.htm)
6. Облачность. Виды облаков и облачности [Электронный ресурс] URL <https://xn----8sbiectm6bhdx8i.xn--p1ai/%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C.html>
7. Gismeteo [Электронный ресурс] URL <https://www.gismeteo.ru/news/klimat/chto-takoe-mm-osadkov-v-prognoze-20-mm-eto-mnogo-ili-malo/#:~:text=%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%BE%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D0%B2%20%E2%80%94%D1%8D%D1%82%D0%BE%20%D0%B2%D1%8B%D1%81%D0%BE%D1%82%D0%B0%20%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%8F,%D0%B2%20%D0%BF%D0%BE%D1%87%D0%B2%D1%83%20%D0%B8%20%D0%BD%D0%B5%20%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%BB%D0%B8%D1%81%D1%8C.&text=15%20%D0%BC%D0%BC%20%D0%BE%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D0%B2%20%E2%80%94%D1%8D%D1%82%D0%BE%2015,%D0%BA%D0%B0%D0%B6%D0%B4%D1%8B%D0%B9%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%20%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8.>

8. БУК ВО «Областная универсальная научная библиотека»  
Турбулентность [Электронный ресурс] URL:  
<https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/112/898.htm>
9. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
11. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
12. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах
13. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
14. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
15. ГОСТ 2239-79. Лампы накаливания общего назначения.
16. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с. URL:  
<https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KREPSHA/teach/bezop/osv.pdf>

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 18 – Характеристики турбулентности с 00:00 до 12:00

Вычисленные характеристики, ед. изм.	00:00 – 01:00	01:00 – 02:00	02:00 – 03:00	03:00 – 04:00	04:00 – 05:00	05:00 – 06:00	06:00 – 07:00	07:00 – 08:00	08:00 – 09:00	09:00 – 10:00	10:00 – 11:00	11:00 – 12:00
Модуль среднего вектора скорости, м/с	5,429550319	5,450560409	5,124277365	4,380222933	4,980330293	4,796820003	3,638088862	4,34949347	4,682243874	4,226110004	3,457512634	4,170499433
Средняя скорость горизонтального ветра, м/с	5,11956183	5,120674469	4,792610438	4,099983262	4,665574428	4,505537862	3,521540454	4,25126018	4,547251917	4,108874542	3,361499792	4,094638631
Угол наклона к горизонту ср.вектора скорости ветра, град.	0,339542454	0,349696634	0,361759989	0,359645642	0,357426782	0,350281963	0,253803611	0,212934379	0,240708209	0,236093058	0,236215252	0,191024996
Направление средней скорости горизонтального ветра	5,873080694	5,848712788	5,808962258	5,819583015	5,799639152	5,837963269	6,163970569	4,399251949	4,646750551	4,490734578	4,394648301	4,085452173
Давление насыщенного пара, гПа	6,108121459	6,108405372	6,105051128	6,098589742	6,098048121	6,097386273	6,089347606	6,110119014	6,121329418	6,121770689	6,121772323	6,121775826

Ср.значения в атмосфере для упругости (давления) водяного пара,	5,833785364	6,026563456	5,963696583	5,862466697	5,908853594	5,984410416	5,823472902	5,615079175	5,369783199	4,7786542	4,48655576	4,315566978
Дефицит влажности	0,274336095	0,081841915	0,141354545	0,236123045	0,189194527	0,112975857	0,265874704	0,495039839	0,751546219	1,343116489	1,635216563	1,806208848
Абсолютная влажность воздуха	0,009027792	0,009324553	0,009221338	0,009064717	0,009134746	0,009257744	0,009020597	0,008730883	0,00845987	0,007643087	0,007201087	0,006964281
Плотность воздуха	0,009452321	0,00945118	0,0094399	0,009429772	0,009427191	0,009432516	0,009432434	0,00950194	0,009644901	0,009791534	0,009825736	0,009879917
Пульсация температуры	5,92119E-17	2,96059E-16	-2,46716E-17	-6,96611E-17	4,36562E-16	-4,6788E-16	-3,85436E-16	2,18405E-16	1,05898E-15	3,07446E-16	7,93691E-16	1,89886E-15
Пульсация вертикальных компонентов скорости ветра	-9,25186E-18	1,36343E-16	-2,79612E-16	-2,61229E-17	1,58066E-16	2,16097E-16	8,48378E-17	-1,54703E-17	-4,6971E-17	3,41607E-17	1,7362E-16	2,29701E-17
Пульсация продольного компонента скорости ветра	3,36768E-16	-2,96059E-16	-5,75671E-16	2,17691E-17	4,6667E-16	6,34413E-17	-6,87081E-16	4,22249E-16	7,30185E-16	-4,7825E-16	-1,72439E-16	-4,21119E-17

Пульсация поперечного компонента скорости ветра	4,09395E-16	-1,88933E-16	-4,93432E-17	1,4803E-16	1,31721E-16	3,96508E-18	-1,17307E-16	3,20327E-16	6,83214E-17	-1,15292E-16	-1,70077E-16	-2,9909E-18
Момент потока тепла	-0,006108056	-0,001140074	-0,003197051	- 0,004264706	- 0,007203419	- 0,015683163	- 0,006153186	0,408358452	0,036914201	- 0,015515607	0,009387144	0,074866052
Момент потока импульса	0,158117396	0,165773192	0,083537529	0,336440104	0,321677763	0,364380925	0,144647737	- 0,451849796	-0,60471802	- 0,322311882	- 0,202305449	- 0,267085796
Полная энергия турбулентных движений	0,811382514	0,79540542	0,563215933	1,008051922	0,993954909	1,169590325	0,747249165	2,796083251	1,656392081	1,263983729	0,747799861	1,166472626
Относительная интенсивность флуктуаций скорости ветра	0,027523136	0,026773567	0,02144913	0,052540049	0,040072865	0,050830797	0,056457135	0,147799421	0,075553587	0,070771742	0,062554395	0,067065384
Вертикальный поток импульса	-0,001494576	-0,001566752	-0,000788586	- 0,003172553	- 0,003032518	- 0,003437029	-0,00136438	0,00429345	0,005832445	0,003155928	0,0019878	0,002638786
Вертикальный поток тепла	-5,77353E-05	-1,0775E-05	-3,01798E-05	-4,02152E-05	-6,7908E-05	- 0,000147932	-5,80395E-05	0,003880197	0,000356034	- 0,000151922	9,22356E-05	0,00073967

Скорость трения(масштаб ветра)	0,158117396	0,165773192	0,083537529	0,336440104	0,321677763	0,364380925	0,144647737	0,451849796	0,60471802	0,322311882	0,202305449	0,267085796
Масштаб температуры	0,00096579	0,000188994	0,000267074	0,001434818	0,00231718	0,005714646	0,000890044	- 0,184516683	- 0,022322683	0,005000864	-0,00189907	- 0,019995659
Масштаб Монина-Обухова	0,006372099	0,007003953	0,00177918	0,028869903	0,026374301	0,033852681	0,005332673	0,05459192	0,095538307	0,026479844	0,010430148	0,018221655
Коэффициент сопротивления потоку	0,00084807	0,00092501	0,000265765	0,005899607	0,004171822	0,00577038	0,001580799	0,010792221	0,016680066	0,005816625	0,003423636	0,004101337
Структурная постоянная температурных флуктуаций	0,000149183	0,00016741	0,00013381	0,000209077	9,56002E-05	0,000134254	8,77139E-05	0,001309819	0,002154175	0,000263081	0,000234796	0,000820166
Структурная постоянная ветровых флуктуаций	0,314714538	0,248845495	0,169958807	0,200623667	0,287147504	0,313020817	0,118079519	0,194839151	0,34198202	0,231303463	0,116961436	0,110314724
Структурная постоянная флуктуация акустического показателя преломления	2,87263E-06	2,27144E-06	1,55139E-06	1,83134E-06	2,62097E-06	2,85716E-06	1,07783E-06	1,7795E-06	3,1233E-06	2,11142E-06	1,06776E-06	1,00763E-06

Структурная постоянная флуктуация оптического показателя преломления	1,15212E-12	1,15201E-12	1,1475E-12	1,14247E-12	1,14162E-12	1,14272E-12	1,14043E-12	1,16937E-12	1,23402E-12	1,30216E-12	1,31313E-12	1,33617E-12
Локальный градиент скорости ветра	875,1946718	834,8135195	1656,00357	411,9722302	430,8028322	380,5164436	956,6226878	307,2512632	230,2481571	429,9584353	684,2293157	518,5574794
Локальный градиент потенциальной температуры	5,345109914	0,951626233	5,294153866	1,756007762	3,10174695	5,963986991	5,88569898	- 125,3487144	- 8,484917049	6,667815336	-6,42172438	-38,8093542
Локальный градиент температуры	5,335309914	0,941826233	5,284353866	1,746207762	3,09194695	5,954186991	5,87589898	- 125,3585144	- 8,494717049	6,658015336	-6,43152438	-38,8191542
Коэффициент турбулентного обмена количества движения	2,85663E-05	3,29184E-05	4,21407E-06	0,000274756	0,000240195	0,00034893	2,18717E-05	0,000664499	0,001588216	0,000241616	5,98155E-05	0,000137564
Коэффициент турбулентного обмена тепла	2,85697E-05	3,29227E-05	4,21421E-06	0,000274902	0,000240311	0,000349147	2,18739E-05	0,000665135	0,001590932	0,000241734	5,9827E-05	0,00013761
Внешний масштаб турбулентности	0,000180665	0,000198575	5,04453E-05	0,000816657	0,000746694	0,000957596	0,000151207	0,00147062	0,002626375	0,000749635	0,000295669	0,000515055



Скорость диссипации энергии ветровых флуктуаций	-0,001365979	-0,00029526	-0,000100481	- 0,008082092	- 0,011841205	- 0,037243089	- 0,000841251	2,457565579	0,906152172	- 0,080123249	0,012173423	0,240481445
Скорость диссипации энергии ветровых флуктуаций	0,000152708	3,13301E-05	2,23107E-05	0,00048273	0,000745385	0,002082308	0,000128743	- 0,083373826	- 0,013498928	0,001611838	- 0,000384192	- 0,005340557
Градиентное число Ричардсона	-0,01494119	-0,002775292	-0,008203577	- 0,011878275	-0,02021362	- 0,044301415	- 0,018847837	0,869056518	0,046301346	- 0,013941538	0,008296333	0,061501876

Таблица 19 - Сравнительный анализ за 10 лет с одинаковым периодом.

Вычисленные характеристики, ед. изм.	2010	2012	2013	2014	2016	2017	2018	2020
Модуль среднего вектора скорости, м/с	0,83211641	2,66721634 6	4,78217587 3	3,73681128 1	1,38381793 9	3,84192462 7	1,32921788 7	4,37082238 4
Средняя скорость горизонтального ветра, м/с	0,78087374 1	2,49382883 6	4,57729356 9	3,66625459 8	1,35802031 5	3,73564908 8	1,31175922 9	4,15404341 5
Угол наклона к горизонту ср.вектора скорости ветра, град.	0,35277119 8	0,36255676 4	0,29377667 5	0,19463422 8	0,19339372 5	0,23575639 1	0,16225528 2	0,31626673 1
Направление средней скорости горизонтального ветра	2,62706421 4	-	-	-	2,33119744 9	-	-	4,39650001 6
Давление насыщенного пара, гПа	6,12177919 8	6,12177919 8	6,12177919 8	6,12174939 4	6,12177919 8	6,12177919 3	6,12177919 8	6,12177825
Ср.значения в атмосфере для упругости (давления) водяного пара,	5,04477793 3	5,31535289 9	5,37983722 2	5,88125360 7	3,20016104 4	5,12971497 5	3,29508437 6	3,49515725 3
Дефицит влажности	1,07700126 5	0,80642629 9	0,74194197 7	0,24049578 7	2,92161815 4	0,99206421 9	2,82669482 1	2,62662099 6
Абсолютная влажность воздуха	0,00924502 3	0,00954559 6	0,00912358 7	0,00960969 8	0,00553012 9	0,00864744 8	0,00556772 9	0,00567607 7
Плотность воздуха	0,01121823 4	0,01099372 4	0,01038186 6	0,01000251 9	0,01057815 9	0,01031966 8	0,01034302 2	0,00994233 4
Пульсация температуры	-1,83143E-15	-2,93391E-15	-2,62324E-15	-5,83437E-16	-2,6443E-15	2,69613E-15	1,60466E-15	-1,51816E-15
Пульсация вертикальных компонентов скорости ветра	0	-9,91743E-17	1,59225E-17	-4,63045E-17	-8,99421E-18	-2,40726E-17	1,30815E-17	-8,28085E-17

Пульсация продольного компонента скорости ветра	0	-6,61162E-17	1,59225E-17	2,40783E-16	2,92312E-17	-2,08629E-16	-6,97679E-17	5,52057E-17
Пульсация поперечного компонента скорости ветра	8,63882E-18	5,16533E-18	9,35448E-17	1,48174E-16	7,64508E-17	-1,12339E-16	-6,54074E-18	3,68038E-17
Момент потока тепла	0,0508989	0,008958287	0,002098295	0,009559185	0,00481322	0,007029553	0,005627392	0,091241235
Момент потока импульса	0,022268388	0,06531679	0,207729343	0,163773699	0,002002432	0,041125559	0,014158513	0,906175907
Полная энергия турбулентных движений	0,299573293	0,370175435	2,062346798	1,665049215	0,169929743	1,884003808	0,19182465	3,712812239
Относительная интенсивность флуктуаций скорости ветра	0,432648219	0,052034467	0,090180078	0,119240762	0,088738378	0,127639206	0,108570556	0,194346476
Вертикальный поток импульса	0,000249812	0,000718075	0,002156618	0,001638149	2,1182E-05	0,000424402	0,000146442	0,009009504
Вертикальный поток тепла	0,000570996	9,84849E-05	-2,17842E-05	9,56159E-05	5,0915E-05	7,25426E-05	5,82042E-05	0,000907151
Скорость трения(масштаб ветра)	0,022268388	0,06531679	0,207729343	0,163773699	0,002002432	0,041125559	0,014158513	0,906175907
Масштаб температуры	0,001133436	0,000585127	0,000435878	0,001565543	-9,63815E-06	0,000289094	-7,96755E-05	0,082680609
Масштаб Монина-Обухова	0,000126392	0,001087306	0,010997443	0,006838166	1,02211E-06	0,000431066	5,10992E-05	0,209308986
Коэффициент сопротивления потоку	0,000716159	0,000599699	0,001886881	0,001920817	2,09391E-06	0,000114585	0,00011346	0,042983196

Структурная постоянная температурных флуктуаций	0,00102230 1	0,00115159 7	0,00096526 6	0,00030971 6	0,00026963 7	0,00039781 1	0,00014018 2	0,00079330 4
Структурная постоянная ветровых флуктуаций	0,00011302 9	0,00599296 8	0,05758451 5	0,0304811	0,00079420 9	0,03484201 2	0,00075775 3	0,06984188 5
Структурная постоянная флуктуация акустического показателя преломления	2,16036E- 09	5,59166E- 08	5,26552E- 07	2,7849E-07	7,52329E- 09	3,18396E- 07	7,05305E- 09	6,38203E- 07
Структурная постоянная флуктуация оптического показателя преломления	2,07663E- 12	1,90848E- 12	1,59934E- 12	1,34692E- 12	1,70114E- 12	1,526E-12	1,56003E- 12	1,36382E- 12
Локальный градиент скорости ветра	6211,59635 9	2117,85769 6	666,390587 8	844,995597 2	69076,5049 6	3363,48568 1	9769,49327 7	154,907988 4
Локальный градиент потенциальной температуры	- 316,162687 3	- 18,9719958 2	1,39800095 6	- 8,07645143 2	- 332,480404 6	- 23,6436117 8	- 54,9767171 2	-14,0802538
Локальный градиент температуры	- 316,172487 3	- 18,9817958 2	1,38820095 6	- 8,08625143 2	- 332,490204 6	- 23,6534117 8	- 54,9865171 2	-14,0900538
Коэффициент турбулентного обмена количества движения	7,98315E- 08	2,01443E- 06	6,4754E-05	3,1742E-05	5,80477E- 11	5,02845E- 07	2,05193E- 08	0,00530091 9
Коэффициент турбулентного обмена тепла	7,98317E- 08	2,01447E- 06	6,47672E- 05	3,1746E-05	5,80477E- 11	5,02849E- 07	2,05194E- 08	0,00532115 2
Внешний масштаб турбулентности	3,58497E- 06	3,0841E-05	0,00031172 3	0,00019381 6	2,89886E- 08	1,22271E- 05	1,44926E- 06	0,00584976 9
Скорость диссипации энергии ветровых флуктуаций	0,00027944 9	0,00105473 6	- 0,00591276 4	0,00577592 3	1,37866E- 08	0,00012305 8	4,52223E- 06	12,6436753 8
Скорость диссипации энергии ветровых флуктуаций	-2,52398E- 05	-3,82186E- 05	9,05445E- 05	- 0,00025639 5	-1,92997E- 08	-1,18892E- 05	-1,12809E- 06	- 0,07492317 6

Градиентное число Ричардсона	0,01416029 3	0,00293293 4	- 0,00092398 1	0,00961726 1	0,00186627 2	0,00386349 8	0,00274919	0,06877535 4
------------------------------------	-----------------	-----------------	----------------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------	-----------------

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**SOFTWARE DEVELOPMENT**

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8BM82	Иванов Егор Андреевич		

Консультант школы отделения (НОЦ) \_\_ИШИТР\_\_

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Ботыгин И.А.	к.т.н		

Консультант – лингвист отделения ОИЯ ШБИП

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Аксёнова Н. В.	к.ф.н.		

## Introduction

Intensive development of digital technologies has played a major role in the development of qualitatively new ultrasonic weather stations, which have significantly better technical capabilities to assess the parameters of atmospheric turbulence. Modern devices of this type can measure instantaneous values of air temperature and three orthogonal components of wind speed with the best indicators, which is very important when assessing the parameters of turbulence. These indicators include: inertia of measurements ( $\sim 10^{-3}$  s), threshold sensitivity to pulsation of meteorological parameters ( $\sim 10^{-2}$  °C or m/s) and repetition rate of measurements (from 10 to 160 Hz). The first two indicators determine the resolution capability of the instrument to turbulent fluctuations of meteorological parameters in amplitude, and the third one - the value of the upper limit of their resolution in frequency spectra. It should be noted that modern ultrasonic meteorological stations are equipped with additional sensors for measuring relative humidity, atmospheric pressure, control of angular deviations of the vertical axis of the thermoanemometer, etc., which allow implementing various small-scale probabilistic-statistical approaches to analyze and establish the relationship of meteorological parameters.

The study of turbulence characteristics in the surface layer is an important part of the study of the entire boundary layer of the atmosphere. Atmospheric turbulence in the surface layer is satisfactorily described by Monin-Obukhov's theory. However, even under ideal conditions of a flat and homogeneous underlying surface, there is a significant variation of data on the characteristics of atmospheric turbulence. One of the reasons for these discrepancies is geographical position, topography, roughness of the underlying surface.

The purpose of this work is to develop a convenient, accurate and inexpensive application for calculating the turbulence characteristics, in particular the temperature flows and number of movements, dispersions for the values of meteorological values and atmospheric turbulence parameters obtained from the AMK-03 weather station. These data are of interest because they are obtained within the city limits above a

heterogeneous underlying surface. In addition, the evaluation of qualitative characteristics in the surface layer is of great importance for the study of the atmospheric boundary layer, since all theories of similarity use as one of the input parameters the obtained calculations of our program. Therefore, errors in determining the turbulence characteristics in the surface layer will also affect the characteristics of the atmospheric boundary layer.

The following tasks have been selected and implemented to achieve the set goal:

1. The toolkit for interaction with AMK-03 servers has been developed. It can be used autonomously. It provides dynamic output of requested meteorological data and their export in standard distribution formats.
2. Toolkit for calculation of descriptive statistics parameters, primary correlation-regression analysis and surface atmospheric turbulence characteristics for the selected data set has been developed.
3. Studies of the changes in the characteristics of the atmospheric surface layer turbulence at different time scales have been conducted.

The results of this work can be used in organizations monitoring and observing the state of the atmosphere, as well as for independent specialists studying the turbulence in the Tomsk region.

## **1 Definitions in meteorology**

Meteorology is the science of the atmosphere, its composition, structure, properties and physical and chemical processes running in it. Theoretical basic meteorology is the general laws of physics and chemistry as applied to the atmosphere. The main objectives of meteorology are to describe the state of the atmosphere at a given physical moment in time and to predict its future state. In some cases, it is necessary to restore the state of the atmosphere to the past.

Climatology is referred to as meteorology, which examines the patterns of climate formation, its distribution around the globe and changes in the past and future.



Climate is defined as a set of atmospheric conditions over a period of many years, typical of different places depending on their geographical situation. In this sense, climate is one of the physical and geographical characteristics of a place.

Meteorology is divided into sections that deal with different tasks:

Physical meteorology is the development of radar and space methods of phenomena investigation;

Dynamic meteorology studies the mechanisms of atmospheric processes;

Synoptic meteorology reveals the peculiarities of the development of atmospheric processes and develops practical skills of forecasting;

Climatology studies the global climate system and provides a relatively early forecast.

The use of exact physical laws and complex mathematical apparatus in meteorology brings this science in line with physical and mathematical sciences.

### **1.1 Terminology of meteorological observations**

Meteorological observations are measurements of meteorological variables and assessments of atmospheric phenomena. The following basic meteorological variables are distinguished:

Air temperature is the most important characteristic of the thermal condition of the air. In meteorology, temperature is generally expressed on a Celsius scale of -  $t^{\circ}\text{C}$ .

In theoretical calculations, the thermodynamic scale is also used, in which temperature is expressed in degrees Kelvin -  $T^{\circ}\text{K} = 273.15 + t^{\circ}\text{C}$ .

Air humidity is the content of water vapour in the air, characterized by a number of values. The water evaporated from the surface of the continents and oceans when heated enters the atmosphere and is concentrated in the lower layers of the troposphere. The temperature at which air reaches saturation with a given water

vapour content and constant pressure is called the dew point. Moisture is characterized by the following indicators:

- Absolute humidity. It is expressed by the mass of water vapour in 1m air. It is calculated in grams of water vapour per 1 m<sup>3</sup> of air. The higher the air temperature, the higher the absolute humidity, as more water passes from liquid to vapour during heating. Absolute humidity is higher during the day than at night. Absolute humidity indicator depends on the geographical location of the given point: in polar latitudes, for example, it is equal to 1 g per 1 m<sup>2</sup> of water vapor, at the equator to 30 grams per 1 m<sup>2</sup> in Batumi (Georgia, Black Sea coast) absolute humidity is 6 g per 1 m, and in Verkhoyansk (Russia, Northeast Siberia) - 0.1 grams per 1 m. Absolute humidity depends to a great extent on the vegetation cover of the area;
- Relative humidity. This is the ratio of the amount of moisture that is in the air to the amount that it can contain at the same temperature. The relative humidity is calculated as a percentage. For example, Relative Humidity is 70%. This means that air contains 70% of the amount of steam it can contain at a given temperature. If the daily course of absolute humidity is directly proportional to the course of temperatures, the relative humidity is inversely proportional to that course. A person feels good at 40-75% relative humidity. Deviation from the norm causes poor condition of the organism. The air in nature is rarely saturated with water vapor, but always contains some of it. Nowhere on Earth was registered the relative humidity equal to 0%. In meteorological stations, humidity is measured with the help of a hygrometer, and self-writing hygrographs are also used.
- The air is saturated and unsaturated. When water evaporates from the ocean or land surface, the air cannot hold water vapor indefinitely. This limit depends on the air temperature. The air that can no longer hold moisture is called saturated. With the slightest cooling, water droplets in the form of dew and mists begin to emerge from this air. This is because the cooling water passes from a gaseous state (vapour) to a liquid one. The air above a dry and warm surface usually contains less water vapour than it could contain at this temperature. This air is called unsaturated air. When it

cools down, water is not always released. The warmer the air, the more water it can absorb. For example, at -20°C air contains no more than 1 g/m of water; at +10°C it contains about 9 g/m<sup>3</sup>, and at +20°C it contains about 17 g/m. Therefore, at seemingly strong humidity in the tundra and its dryness in the steppe, absolute humidity can be equal due to their temperature difference.

- Calculation of air humidity is important not only for determining the weather, but also for many technical measures, for storing books and museum paintings, for treating lung diseases and especially for irrigating fields.

Atmospheric pressure is the force acting on all the objects in it and on the earth's surface, equal to the force module acting in the atmosphere, per unit of surface area according to the normal to it. The numerical value of this force  $F$  assigned to area  $S$ , called pressure, is calculated by formula (1):

$$P = F / S \quad (1)$$

Atmospheric pressure is measured by a barometer, the unit of measurement in the world is Pascal, but in the Russian Federation bar, millimeter of mercury column is allowed to be used. The standard pressure is 760 mm mercury column.

Wind speed and direction - As a result of uneven heating of the earth's surface and different (changing for different reasons) air pressure, the air moves, i.e. the wind. Wind is determined by its speed and direction. Speed is measured by the distance in meters (kilometers) to which the air mass moves in 1 second (hour), as well as in points on the 12-point Beaufort system. As wind speed varies continuously, meteorology more often takes into account the average of 10 minutes. The concept of "wind direction" is defined in meteorology by the name of the cardinal direction from which the wind blows. There are 16 directions (rhombuses) denoted by the cardinal direction - in Figure 2 the so-called "wind rose" is displayed.

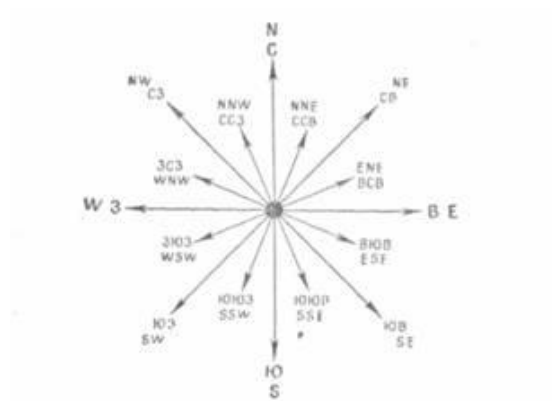


Fig. 1 - Wind Rose template

Changes in wind speed and direction can be caused by the general movement of large air masses over a distance of 200 to 1000 km or more, as well as by local conditions.

The wind is divided into types:

**Foehn.** Wind is observed only in the mountains and foothills. It is formed as follows. Masses of air with high humidity are cooled when climbing a windward slope. At the same time their humidity increases, and at some altitude cloudiness is formed, from which it rains, and at even higher altitudes - snow.

Having passed through the mountains, the masses of air in which the amount of moisture has decreased, at lowering heat up (due to compression) and acquire a higher temperature than they had at the same altitudes when climbing. Such wind in the mountains on leeward slopes causes rapid snow and glaciers melting, contributing to avalanches and floods. Tourists should take these phenomena into account.

Unlike mountain winds, whose direction changes during the day, the hair dryer always blows only from the tops down and can last for several days.

**Mountain-valley winds.** Uneven heating of mountains and valleys during the day and their cooling at night create a periodic change of winds in opposite directions. At night, due to the cooling of the peaks and slopes, the surface air layers touching them are cooled. More dense cold air flows down, forming a mountain wind blowing into the valley. In the daytime, on the contrary, warm winds are blowing, rising from the

valleys up the mountain slopes. The mountain-valley winds are similar to the winds of the valleys.

Mountain-valley winds and foehns are related to cloudiness in a certain way. Usually in mountain and longitudinal winds in the evening cloudiness at the tops disappears. At night and before sunrise the peaks are open, but by midday the clouds start to tighten again. With a hairdryer, when the warm wind blows from the mountains and during the day, the clouds near the peaks do not disappear either in the evening or at night.

Breeze. Winds blowing in coastal areas during the day from the sea to the shore, at night - from shore to sea. Sea breezes penetrate deep into the land for up to 40 km.

The coastal wind is similar to the breeze and is observed near the banks of rivers, lakes and reservoirs.

There is a forest wind. The area of land under the forest, protected by foliage, is slightly heated during the day and slightly cooled at night. Therefore, there is a wind during the day from the forest to the open areas, while in the evening and at night it is the opposite. It should be noted that a pronounced periodicity of all local winds (except for a foehn) is clearly observed only in established good weather,

When travelling, the wind direction is determined by a pennant, smoke and compass, and the speed is determined by an eye or handheld anemometer, the rules for using which are specified in his passport.

Number and height of clouds - The term "cloudiness" means the number of clouds observed in one place. Clouds, in turn, are atmospheric phenomena formed by a water vapor suspension. The classification of clouds includes many species that are distinguished by size, shape, nature of formation and height.

Meteorologists use a ten-point cloud scale, which is sometimes expressed as a percentage of coverage of the observable celestial space (1 point - 10% coverage). In addition, the height of cloud formation is divided into upper and lower tiers. The

same system is used in the marine industry. Aviation meteorologists use a system of eight octants (parts of the observable sky) with a more detailed indication of the height of the clouds. A special device is used to determine the lower boundary of the clouds. But only aviation meteorological stations are in dire need of it. In other cases, the height is visually estimated[5].

The world classification of clouds distinguishes many species, each of which has its own Latin name. It takes into account the form, origin, height of formation and a number of other factors. The basis of the classification is made up of several types of clouds:

- cirrus clouds are thin threads of white color. They are located at an altitude of 3 to 18 km depending on latitude. They consist of falling ice crystals, which owe their appearance. Among cirrus clouds at an altitude of more than 7 km are divided into pinnate, highly layered clouds, which have low density. Below, at an altitude of about 5 km, there are high-nominal clouds.
- cumulus clouds, dense formations of white color and considerable height (sometimes more than 5 km). They are most often located in the lower tier with vertical development in the middle. Heap clouds at the upper boundary of the middle tier are called high cumulus clouds.
- Plains, storm clouds and storm clouds, as a rule, are located not high above the Earth's surface 500-2000 meters and are characterized by precipitation in the form of rain, snow.
- Layered clouds are a layer of low density suspension. They transmit sun and moonlight and are between 30 and 400 meters high.

Cirrus, cumulus and layered types are mixed to form other types: cirrus -summer, layered, pinnate-layered. In addition to the main species of clouds, there are other, less common: silver and pearlescent, lenticular and meshed. And clouds formed by fires or volcanoes are called pyro cumulative.

The amount of precipitation is water in liquid and solid form that falls from the clouds or precipitates directly from the air. The most common precipitation falling out of clouds is rain, drizzle, snow, wet snow, snow grits, ice grits, snow grains, hail, ice rain, ice needles. Directly from the air precipitate: dew, hoarfrost, frost.

Sedimentation of hypothermia: rain, drizzle and fog, on the ground and objects gives ice. It is measured in the height of a layer of water in millimeters, which would have formed on the surface of the earth if it had been absolutely flat, i.e. the precipitation would not have flowed, seeped into the soil and evaporated.

### **1.2 Automated ultrasonic meteorological complex AMK-03**

Automated measuring complex "Autonomous meteorological station AMK-03" is designed to measure meteorological parameters of the air environment: temperature, wind speed, relative humidity, atmospheric pressure, turbulence parameters. The product is used in hydrometeorological works, for automated control of air environment parameters in free atmosphere, remote or hard-to-reach production facilities, technological air volumes.

Figure 2 shows the ultrasonic anemometer used at AMK-03 station. The meteorological station is used for hydrometeorological works, for automated control of free atmosphere air environment parameters, remote or hard-to-reach production facilities and technological air volumes.



Fig.2 - Ultrasonic Anemometer

The principle of operation of the product when measuring the air flow parameters of the air temperature is based on measuring the time intervals of ultrasonic signals between four pairs of piezoelectric transducers of ultrasonic signals calculated on the basis of the received values of the direction module of the vector of group velocity of air flow, flowing between the transducers of ultrasonic signals, and the air temperature.

Data acquisition for calculation of air flow parameters of the product, depending on the version, is performed by the meteorological parameters sensor DSV-15 or thermoanemometer DSV-16. Primary transducers of relative humidity of atmospheric pressure are placed, depending on the version, inside the sensor case of meteoroparameters DSV-15 or inside the sensor case of humidity pressure DVD-12. Besides, there is an additional primary temperature transducer inside the case of DVD-12.

Main operating characteristics:

- Display of measured information and control of meteorological complex operation modes are carried out with the help of control and display panel and/or PC;
- Power supply of product modifications is carried out a): from AC mains with voltage  $220\text{ V} \pm 10\%$  and frequency  $50\text{ Hz} \pm 1\text{ Hz}$ , power consumption does not exceed 10 VA, b): from DC mains with voltage V (accumulator battery), current consumption does not exceed 0.20 A, c): from DC mains with voltage 27 V, current consumption does not exceed 0.20 A;
- Dimensions and weight of the main functional units of the meteorological complex: sensor of meteorological parameters  $380 \times \varnothing 230\text{ mm}$  and 1.4 kg respectively.

Devices for wind measurement at ground meteorological stations are installed at a height of 10-12 m above the ground surface. The wind they measure is called the wind near the earth's surface.